RIVISTA MILITARE

FINMECCANICA

TECHNE

Il ruolo trainante della cultura militare nell'evoluzione tecnologica

FLAVIO RUSSO - FERRUCCIO RUSSO

Flavio Russo - Ferruccio Russo

TECHNE

Il ruolo trainante della cultura militare nell'evoluzione tecnologica

- ETÀ CLASSICA -

RIVISTA MILITARE

ROMA 2009

Questo volume è stato realizzato dalla Rivista Militare.
Ne sono Autori: per la parte relativa al testo ed alle ricerche storiche Flavio Russo; per la parte relativa al progetto grafico, alle ricostruzioni virtuali e all'apparato iconografico, in generale, Ferruccio Russo.
Le illustrazioni ed i disegni, quando non diversamente precisato nelle referenze iconografiche, sono degli Autori o della Rivista Militare.

L'immagine di copertina è stata gentilmente concessa dalla *XXX Ulpia* di Albano Laziale.

Hanno collaborato:

Coordinamento editoriale:
Luigino Cerbo

Revisione testi:
Annarita Laurenzi, Marcello Ciriminna

Progetto e elaborazione grafica:
Ferruccio Russo

RIVISTA MILITARE

Direttore Responsabile:
Marco Ciampini

© 2009
Proprietà letteraria artistica e scientifica riservata

Indice

Presentazione 3
Prefazione archeologica 4
Prefazione tecnica 5

Introduzione 9

Dai greci ai romani 11
Dinamica della tecnologia militare 16
Le incongruenze dell'attuale pubblicistica 19
Le incongruenze delle interpretazioni 23
Riservatezze e tabù 24
Le protesi tecnologiche 26
Un minimo di chiarezza: scoperte ed invenzioni 27
Meccanica e macchine, tecnica e tecnologia 29
Cronologia relativa 31
Disprezzo o superfluità della tecnica? 35
La meccanizzazione mancata 37
Il motore 39
Elasticità e armi da lancio 41
Artiglieria elastica a torsione 43
Artiglieria eutitona e palintona 49
La cheiroballistra di Erone 53
Artiglieria a molle metalliche 58
Cinematismi ed automatistimi: la catapulta a ripetizione 60
Motori e ambiti naturali 63
Premesse e promesse 65
Un mito da sfatare 66
Analogie e differenze 67
La mancanza di una rappresentazione tecnica 68
Principio di sussidiarietà 69
Ambiti d'indagine 70
Convenzioni grafiche 73
I quattro elementi classici 74

Parte Prima: Terra → Stato Solido 76

Militaria mirabilia 77
La rampa di Masada 77
Le strade delle legioni 78
1. La città disegnata 79
1.1 L'urbanistica ippodamea 79
1.2 L'accampamento legionario 80
1.3 Le tende dei legionari 83
2. Muri e mura 85
2.1 L'opera cementizia 85
2.2 L'opera poligonale: la tecnica antisismica 86
2.3 La tecnica baraccata: le case intelaiate antisismiche 90
3. L'ambiente disegnato 92

3.1 *L'archipendolo* ... 92
3.2 *L'odometro* ... 93
3.3 *L'odometro di Erone* ... 95
3.4 *Il baculo* ... 97
3.5 *La groma* ... 97
3.6 *Lo squadro agrimensorio* ... 99
3.7 *Il corobate* ... 100
3.8 *La diottra di Erone* ... 101
3.9 *Il livello di Erone* ... 103
4. *Conteggiare* ... 105
4.1 *L'abaco romano* ... 105
4.2 *Il mesolabio* ... 106
4.3 *Il calcolatore di Antikythera* ... 108
5. *Costruire* ... 110
5.1 *Il tornio: l'utensile per costruire* ... 110
5.2 *I supporti a basso attrito* ... 111
6. *Sollevare* ... 113
6.1 *Le gru ed i paranchi* ... 113
6.2 *Il paranco a taglie* ... 116
7. *Trasportare* ... 118
7.1 *Gli imballaggi ruotati* ... 118
7.2 *I carri romani a quattro ruote* ... 121
7.21 *I binari di Pompei* ... 127
7.3 *Debutta la benna dentata: il vallus* ... 128
8. *Medicare* ... 128
8.1 *I ferri chirurgici* ... 131
8.2 *Le protesi dentarie* ... 134
9. *Motori* ... 135
9.1 *I motori a gravità* ... 135
9.2 *La comparsa del semovente* ... 136
9.3 *Il carrello programmabile di Erone* ... 138
9.4 *I piccoli motori a molla: serrature e lucchetti* ... 139

Parte Seconda: Acqua → Stato Liquido ... 144

Militaria mirabilia ... 145
Il ponte sul Reno di Cesare ... 145
Il ponte sul Danubio di Traiano ... 146
1. *Bere o affogare* ... 147
1.1 *Acqua: due terzi della superficie del pianeta* ... 147
1.2 *I primi accenni a macchine idrauliche* ... 148
1.3 *Le prime macchine idrauliche elementari* ... 150
1.4 *Lo shaduf da guerra: il trabucco* ... 151
2. *Sollevare l'acqua* ... 154
2.1 *Le norie di Ostia antica* ... 155
2.2 *La noria della miniera di Rio Tinto* ... 157
2.3 *Le pompe idrauliche* ... 158
2.3.1 *La pompa a vite senza fine* ... 159
2.3.2 *La pompa a bindolo o a catena* ... 161
2.3.3 *La pompa a doppio effetto* ... 162
3. *Invenzioni derivate* ... 164
3.1 *Il volano e la manovella* ... 165
3.2 *L'organo ad acqua* ... 167
4. *Acqua e città* ... 170
4.1 *Gli acquedotti sotterranei* ... 170
4.2 *Gli acquedotti sopraelevati* ... 172
4.3 *Le grandi cisterne* ... 174

4.3.1 La Piscina Mirabilis 176
4.4 Il tripartitore di Pompei 177
4.5 Le torrette piezometriche 179
4.6 Le tubature di piombo 181
4.61 Diametri e definizioni dei tubi di piombo 183
4.6.2 Stampa a caratteri mobili 184
4.7 Chiavi d'arresto 185
4.7.1 Miscelatori monocomando e vasche da bagno 186
5. Lo stillicidio del tempo 188
5.1 La clessidra a Roma 189
5.2 La clessidra di Ctesibio 192
6. Deflussi sincroni 195
6.1 Telegrafo ad acqua 195
7. I motori dello stato liquido 198
7.1 Girante ad asse verticale e pale dritte 198
7.2 Girante ad asse verticale e pale oblique 200
7.3 Girante ad asse orizzontale 202
7.3.1 Ruote idrauliche per caduta e per trascinamento 203
7.3.2 La ruota di Venafro 205
7.3.3 La sega idraulica di Hierapolis e le similari 208
7.4 Il mulino galleggiante 210
7.4.1 Il battello a ruote 213
8. Osservazioni meccaniche 214
9. Le mine idrauliche 214
9.1 Ruina Montium: il fenomeno naturale 214
9.1.1 L'estrazione dell'oro nell'antichità e le mine idrauliche romane 217
9.1.2 Precisazioni tecniche 223

Parte Terza: Aria → Stato Aeriforme 224

Militaria mirabilia 225
Il ponte di circostanza di Senofonte sul Tigri 225
Il ponte su otri dell'Anonimo del De rebus bellicis 226
1. Spingere e sollevare 227
1.1 L'involucro del pianeta 227
1.2 L'aria forza motrice sul mare: la vela 228
1.3 L'aria forza motrice in terra: il mulino eolico 231
1.3.1 Il mulino eolico afgano 232
1.3.2 Il mulino eolico cretese 234
1.3.3 Il mulino a vento ad asse orizzontale e pale inclinate verticali 236
1.4 La direzione del vento: l'anemoscopio e l'anemometro 237
1.5 L'aria forza ascensionale: gli aquiloni giganti 238
1.5.1 Tracce di volo librato in occidente 240
1.5.2 La lunga messa a punto dell'idea giusta 241
1.6 L'aria forza resistente: il paracadute 243
1.7 L'aria forza resistente: lumaca nostrana ed elica cinese 244
2. Respirare e galleggiare 245
2.1 Le riserve d'aria 245
2.2 La campana pneumatica del maestro di color che sanno 247
2.3 Ponti e battelli pneumatici 249
2.4 Il salvagente pneumatico 252
3. Aria compressa 253
3.1 Aria compressa per la forgia: il mantice 253
3.2 Il mantice a stantuffo 254
3.3 Armi pneumatiche 255
3.3.1 Balista a molle d'aria 256
3.3.2 Architronito 260

4. Telegrafia aerea 261
4.1 L'aria come supporto: le telecomunicazioni 261
4.2 Le torrette semaforiche 264
4.3 Il telegrafo ad asta 266
4.4 La posta aerea 269
5. Resistere all'aria 271
5.1 Le lastre di vetro 271
5.2 La chiusura ermetica 272
6. I motori dello stato aeriforme 273

Parte Quarta: Fuoco → Stato del Plasma 274

Mirabilia militaria 275
L'annuncio della vittoria 275
Il cannone a vapore di Archimede 276
1. Il quarto stato della materia 277
1.1 Illuminare e riscaldare 277
1.2 Accensione del fuoco: acciarini e fiammiferi 278
1.3 Acciarini ottici 279
2. Il fuoco per vedere 281
2.1 Le lanterne a vento 281
3. Fuochi per essere visti 283
3.1 I fari romani 283
4. Fuoco per riscaldare 286
4.1 Il riscaldamento domestico 286
4.2 Sistemi di riscaldamento termale 287
4.3 Il samovar da tavola 289
4.3.1 Il doppio samovar di Varrone 290
5. Il fuoco freddo 291
5.1 Il fuoco di Sant'Elmo 291
5.2 Elettroterapie 292
6. Fuoco artificiale 293
6.1 La candela romana 293
7. Fuoco bellico 295
7.1 Fuoco per combattere: specchi ustori 295
7.2 Il lanciafiamme di Tucidide 296
7.3 Il lanciafiamme di Ctesibio: la pompa di Huelva Valverde 298
7.4 Un altro probabile lanciafiamme a pompa monocilindrica 302
7.5 Proietti incendiari e fuoco greco 303
8. Resistere al fuoco 305
8.1 Sacchi e tute di amianto 305
9. Motori termici 306
9.1 La turbina a vapore e a reazione 306

Allegati 307
Indice degli autori 321

Presentazione

Sono particolarmente lieto di presentare ai lettori una nuova opera che - ne sono certo - non mancherà di suscitare interesse e curiosità anche in chi non ha familiarità con la professione delle armi. La Rivista Militare è da sempre impegnata in una grande opera di diffusione delle tradizioni militari, con un preciso intendimento: riaffermare la funzione anticipatrice che il pensiero militare ha svolto lungo il cammino della civiltà umana e far comprendere che la cultura militare è un grande patrimonio di valori etici, morali e civili di cui l'umanità si è arricchita nel corso della sua storia.

Ci sembra giusto e doveroso segnalare, non solo al mondo accademico e ai cultori di studi militari ma anche agli uomini e le donne con le "stellette", questa ricchezza, questa straordinaria testimonianza di dottrina, di scienza, di tecnica e di arte che è parte della cultura militare.

Le pagine che seguono vogliono appunto offrire uno spaccato delle innumerevoli scoperte scientifiche, delle opere di alta ingegneria e delle straordinarie applicazioni pratiche - legate ai temi della difesa, della sicurezza, della guerra e delle armi - che, partendo dall'era classica, hanno interessato la storia stessa dell'uomo.

Chiunque abbia avuto dimestichezza con gli storici dell'antichità, da Livio a Plutarco, da Tacito ad Ammiano, avrà certamente preso conoscenza di realizzazioni che, oggi, per le loro sbalorditive qualità tecnologiche, destano ammirazione ma anche stupore e meraviglia, fino ad apparire inverosimili e spesso iperboliche.

Ma se indaghiamo in maniera meno sommaria comprendiamo che, in realtà, procedure, macchine e congegni, nati per la guerra e perfezionati durante i conflitti, sono stati man mano acquisiti dalla società civile e adattati sempre più alle sue esigenze, fino al punto di cancellare la genesi evolutiva che ha reso possibili le conquiste della tecnologia moderna.

Il libro non ha le pretese del saggio storico, ma costituisce il semplice tentativo di recupero di quella genesi. Un viaggio interminabile lungo il quale compaiono scienziati e letterati, tecnici e artisti capaci di costruire strade, acquedotti, ospedali, biblioteche, teatri, apparecchiature, dispositivi, ordigni, attrezzi e strumenti meccanici. Una serie di invenzioni e di opere che hanno anticipato, provocato e predeterminato quasi tutto lo scibile umano, quello in cui si articola il sapere moderno, e che sono ancora alla base del nostro vissuto quotidiano.

Restituire alla storia del pensiero militare la sua funzione magistrale ed evidenziare il ruolo trainante che la cultura, sviluppatasi intorno ai concetti di sicurezza e difesa, ha svolto in ogni epoca ci porta motivatamente ad affermare che ben diversa sarebbe stata la vita di oggi senza quegli apporti straordinari. Contributi che, da residui arcaici spesso ritenuti inservibili, sono diventati i nuovi beni che hanno aiutato gli uomini e le società a trovare lo sviluppo, il progresso e il benessere.

Questa pregevole raccolta di pensieri e di riflessioni, sostenuta da un puntuale e sicuro vaglio delle fonti storiografiche e arricchita da un magnifico repertorio iconologico curato da Ferruccio Russo, scaturisce dalla penna del Prof. Flavio Russo, illustre storico e apprezzato studioso di cose militari, ben noto al pubblico di lettori per le qualificate collaborazioni fornite e la intensa produzione letteraria per i tipi della Rivista Militare.

IL CAPO DI STATO MAGGIORE DELL'ESERCITO
Generale di Corpo d'Armata Giuseppe VALOTTO

Prefazione archeologica

Lunghi mesi d'attesa (da parte dell'autore) e altrettanto lunghe telefonate (tra l'autore e il sottoscritto) hanno preceduto il varo della serie di articoli che Flavio Russo, in collaborazione con il figlio Ferruccio, cura, ogni mese, per la rivista "Archeo". Le telefonate, in verità, continuano ancora oggi, più volte al mese. In genere si tratta di monologhi, appena introdotti da un breve saluto.

Il motivo di queste telefonate (non ce ne sarebbe bisogno, in verità, ora che la collaborazione con "Archeo" è più che avviata) Flavio Russo me l'ha confessato candidamente: gli servo come "cavia", per sondare il grado di attenzione che le sue straordinarie intuizioni sul sapere tecnologico degli antichi suscitano in un profano quale sono io, poco portato, per giunta, a questioni di calcolo, materiali e pesi specifici. Eppure li ascolto sempre con grande curiosità e soddisfazione personale, i suoi monologhi: sono per me anteprime, vere "notizie in esclusiva", su di un aspetto del nostro amato mondo antico che - ora sono io a confessare - fino a ieri mi era rimasto quasi totalmente precluso.

Sono, però, soddisfatto anche per un altro motivo: quello di contribuire, pubblicando gli articoli dei Russo su "Archeo", alla più vasta diffusione di una ricerca che reputo di enorme fascino e interesse; di una ricerca che - è doveroso sottolinearlo - non ha paralleli nel vasto campo dell'editoria scientifica rivolta al grande pubblico, né in Italia né all'estero.

Ora, gli articoli di "Archeo" sono solo pillole di un insieme ormai vastissimo di argomenti affrontati da Flavio Russo nel corso di svariati decenni e di cui il presente volume, ultimo di una lunga serie, offre una panoramica nuova e aggiornata: disamina delle fonti letterarie, documentazione archeologica e ricerca iconografica concorrono, in questa loro opera più recente, alla riscoperta di un tesoro dell'antichità di cui avevamo perso la memoria, ma di cui ancora si possono inseguire le tracce.

Il tesoro è il vasto mondo della conoscenza tecnologica degli antichi, le tracce sono le tessere raccolte e ricomposte da Flavio Russo in un discorso fluido e illuminante, coadiuvato dalle magnifiche ricostruzioni in grafica virtuale di Ferruccio. È una storia avventurosa, quella che viene presentata nelle pagine che seguono, mai prima affrontata con tanta competenza e chiarezza espositiva. E di questo dobbiamo essere estremamente grati agli autori.

Andreas M. Steiner

Caporedattore di "Archeo"

Prefazione tecnica

Devo iniziare questa prefazione dicendo, chiaramente e sinceramente, che sono onorato e felice che, mi sia stato chiesto di scriverla. Onorato perchè stimo molto l'Autore del testo e considero i risultati delle sue ricerche molto interessanti e molto validi da un punto di vista sia tecnico-scientifico sia culturale nel senso più ampio del termine. Felice perchè, da tempo, sono amico di Flavio Russo e dunque mi rallegro molto del poter scrivere queste brevi note sull'ultimo prodotto dei suoi studi e dei suoi pensieri. Non credo di uscire fuori tema se, nel parlare di questa ricerca, spendo qualche parola sul suo Autore, sul come l'ho conosciuto ed apprezzato e sul perchè continuiamo a frequentarci.

Ho conosciuto l'ing. Russo, Flavio per me, perchè ho anche io lo stesso interesse o per dir meglio "amore" per la Storia dell'Ingegneria. Dal conoscerci allo stimarci il tempo è stato molto breve ed ancora più breve è stato il tempo necessario a diventare amici. Alcune differenze di "metodo" o di "impostazione" che a volte ci fanno... "indulgere in intensi confronti dialettici", per usare una terminologia corretta, vale a dire: litigare usando colorite espressioni goliardiche, da bravi ingegneri, ma, malgrado questo, l'Autore del testo ed io condividiamo la "insana passione" del voler indagare ed esplorare l'ingegno degli ingegneri (il gioco di parole non è casuale) che ci hanno preceduto e lo facciamo nell'unico modo possibile, e cioè attraverso le realizzazioni ed i progetti che essi ci hanno lasciato. Così, da anni, comunichiamo frequentemente per telefono o per posta elettronica o più raramente da vicino e conversiamo "a ruota libera" delle ultime cose che ciascuno di noi ha studiato o creduto di capire recentemente e, per inciso, sottraiamo tempo alle nostre pazienti consorti. Devo dire con chiarezza che raramente mi capita di avere conversazioni altrettanto piacevoli e proficue; una prova di quanto ho appena detto sta nel fatto che, quasi senza accorgercene, da queste conversazioni spesso nasce un'idea per qualche pubblicazione scientifica che, molto spesso, viene accettata da qualche Congresso Internazionale o da qualche prestigiosa Rivista Internazionale.

Può sembrare che parlando di storia dell'ingegneria stia travisando l'argomento del volume che segue, ma, in realtà, come l'Autore del testo dimostrerà dettagliatamente, tra la storia dell'evoluzione tecnologica, cioè dell'ingegneria, e quella militare esiste uno strettissimo rapporto, al punto che fin quasi al secolo scorso furono la medesima cosa. Non a caso i politecnici furono le prime facoltà d'ingegneria create da Napoleone per le necessità dell'Esercito, e genieri sono appunto gli ingegneri.

A questo proposito il libro mostra chiaramente che queste esigenze tecniche, nella maggior parte dei casi, sono nate (2000 anni fa come oggi) sui campi di battaglia. Dunque una gran parte del progresso nel campo tecnico è dovuto alla necessità di rispondere ad esigenze militari, e questo a partire dai tempi più antichi fino ai giorni nostri. Innumerevoli sono gli esempi di quanto appena detto e questo libro, di esempi, ne presenta moltissimi. Questa tradizione di un "travaso" fra il mondo militare e quello tecnico-scientifico è continuata fino ai giorni nostri. Mi piace ricordare, a questo proposito, il prof. ing. Pericle Ferretti (1888-1960), che ha insegnato la mia stessa disciplina (Meccanica Applicata alle Macchine) nello stesso Ateneo (Napoli – "Federico II") e che proveniva dal Genio Navale della Regia Marina dal quale si congedò con il grado di Colonnello. È poco noto che questo scienziato italiano, fondatore dell'Istituto Motori del CNR, svolse importanti studi sulle oscillazioni torsionali degli alberi di trasmissione, rivelatisi basilari per la progettazione delle linee di assi dei mezzi subacquei nonché delle autoblindo; l'allora maggiore Ferretti va poi ricordato per essere l'inventore dello Snorkel, cioè di quel dispositivo che consentì di utilizzare i motori Diesel nei sommergibili immersi a bassa quota, adottato oggi soprattutto sui carri armati e sui fuoristrada, la cui invenzione è stata erroneamente attribuita a volte agli olandesi ed a volte ai tedeschi. A volte nel trasferimento di tecnologia militare al campo civile, gli strumenti mutano tanto radicalmente che la loro origine risulta

difficilmente riconoscibile. Un esempio significativo è l'*ecografo*; questo strumento che oggi permette diagnosi in campo medico rapide ed efficacissime e dunque consente di migliorare ed allungare la nostra vita, deriva, come è noto, dal *sonar,* che fu sviluppato per la ricerca dei sommergibili in immersione.

In pratica, pertanto, per la tecnologia militare e civile si potrebbe parlare motivatamente di due stati allotropici di un'unica evoluzione, per cui il mio divagare sulla storia dell'ingegneria è perfettamente coerente con l'argomento del volume e con la evoluzione della tecnologia, militare per antonomasia sin quasi ai giorni nostri. Ma vi è ancora un altro aspetto che unisce e salda le due branche, e soprattutto quella di mia competenza, la Meccanica.

Nel greco arcaico il termine *méchanè* non indicava ancora la disciplina in grado di descrivere il funzionamento dei congegni, ovvero la meccanica, significato che acquisirà molti secoli dopo e da cui deriverà anche il vocabolo macchina. Per strano che possa sembrare *méchané* designava un'astuzia, uno stratagemma, una procedura più o meno insidiosa nella quale, per attingere il successo in guerra, ci si avvaleva di strumenti idonei o li si costruiva appositamente. *Méchané* fu perciò il termine impiegato da Omero per indicare il famoso Cavallo di Troia, che i Romani a loro volta definirono *macchina*, forse la prima del genere nella pienezza del senso, per quanto ne sappiamo. Del resto un'estrema ma significativa traccia di quella remota valenza la ravvisiamo pure nella odierna voce verbale *macchinare*, in cui permane il senso di tramare, di ordire, di ingannare avvalendosi di complicate procedure. Col tempo, però, il significato di *méchané* si trasferì dall'insidia allo strumento, assumendo per antonomasia l'accezione di congegno elaborato in grado, però, di risolvere difficoltà pratiche non altrimenti superabili.

Come è facile immaginare ogni popolo elaborò così, secondo le proprie competenze, esigenze e risorse, delle invenzioni per scopi bellici. Tali archetipi genericamente definiti armi collettive, strumenti guerreschi o semplicemente macchine, dopo un utilizzo militare più o meno duraturo, diedero origine a innumerevoli filiazioni, macchine anch'esse destinate però ad alleviare la brutalità della fatica, ad incrementare la produzione o a migliorare la qualità dei manufatti. In breve, a migliorare le condizioni esistenziali, processo, in ultima analisi, tutt'oggi in corso. Forse fu questa la ragione per cui l'epopea di Alessandro Magno assunse le caratteristiche di una rivoluzione culturale epocale. Scontri e battaglie lungo una direttrice che attraversava tre continenti svelarono, agli studiosi al seguito del Macedone, un vasto repertorio delle più avanzate nozioni fino ad allora maturate. L'inusitato balzo scientifico esploso all'indomani della sua scomparsa, meglio noto come ellenismo, ne costituisce la tangibile conferma: incubatrice dell'evento la celebre Biblioteca di Alessandria. Da essa usciranno oltre a mitici scienziati quali Archimede, che contrasterà strenuamente le legioni romane a Siracusa, anche tecnici di rinomata competenza quali Erone che finirà, invece, nel loro ambiente come ingegnere.

Il livello tecnologico dell'esercito romano si innalzò vistosamente determinando una ricaduta sulla coeva società di vastissima portata e consequenzialità. In concreto, infatti, sebbene scarsamente noto, fu proprio l'istituzione militare romana a diffondere in maniera capillare le risorse tecniche più avanzate. Le amministrazioni urbane erano solite chiedere ai geometri delle legioni i progetti degli acquedotti. Come pure non di rado si rivolgevano agli ospedali militari per esigenze sanitarie. Ma ciò che più conta erano le officine delle legioni che garantivano la produzione tecnologica di ogni genere necessario alla vita quotidiana ed alla guerra, dalle macchine d'assedio alle artiglierie, dalle tegole alle chiavi d'arresto delle abitazioni. In molti casi quei remoti congegni, senza apprezzabili modifiche formali o materiali, sono ancora presenti nel nostro mondo più evoluto, spesso riapparsi dopo una quiescenza ultramillenaria.

Chiusa questa doverosa parentesi, mi piace ricordare che oltre a Flavio, nel corso dei miei studi, ho conosciuto molti altri studiosi che, provenendo da diversi settori dell'Ingegneria, si interessano di questi argomenti; io stesso normalmente svolgo ricerche su un argomento "di frontiera", quale la Meccanica dei Robot ma studio con altrettanto impegno le invenzioni del passato, ed è infine da ricordare che in moltissime e prestigiose Università degli USA esistono Corsi e Cattedre di Storia dell'Ingegneria. Dunque la materia di questo libro non rappresenta il risultato degli studi di pochi appassionati ma costituisce l'argomento di ricerche che riscuotono notevole interesse presso la Comunità Scientifica Internazionale. È lecito chiedersi, allora, perché in un mondo sempre più proiettato nel futuro ci sia tanto interesse per gli studi sulla Storia dell'Ingegneria. Cosa spinge dunque tanti studiosi che normalmente provengono dai più disparati campi dell'Ingegneria, e non solo, a studiare le realizzazioni dei loro colleghi del lontano passato? Io credo che una spiegazione di questo possa essere individuata in un fatto apparentemente banale: pochi mesi fa, Flavio

ed io scoprimmo, quasi per caso, che un libro che abbiamo scritto insieme su questi argomenti era stato presentato da alcune importanti biblioteche negli USA come libro di Archeologia ed Antropologia. Sulle prime ci meravigliammo: siamo entrambi ingegneri con una forte passione per l'Archeologia ma certamente non pensavamo di aver alcun titolo ad occuparci di una Disciplina sulla quale non abbiamo compiuto alcuno studio quale l'Antropologia. Eppure, a ben pensarci, i responsabili di quelle Biblioteche avevano probabilmente colto una delle "essenze" del nostro lavoro: l'aspetto legato all'uomo, *o àntropos*, appunto. La storia delle invenzioni è quindi uno dei modi di cogliere il percorso dell'ingegno umano in generale ed in particolare di tutti coloro che, in modo spesso anonimo, hanno dato un contributo all'evoluzione culturale (in senso lato) della nostra specie. Esiste infatti una interminabile sequenza di artigiani-ingegneri-scienziati, i cui nomi spesso sono andati perduti, che hanno dedicato la loro vita a perfezionare un particolare o a realizzare una geniale intuizione o, ancora, ad inseguire un sogno. Questi hanno realizzato le loro opere senza scoraggiarsi per le numerose sconfitte e senza inorgoglirsi troppo per le poche vittorie ma facendo tesoro delle une e delle altre, sorretti e spinti molto più dalla passione che dalla speranza di guadagno. A questi uomini, i protagonisti della Storia dell'Ingegneria, dobbiamo molto più che la comoda realtà nella quale viviamo, ad essi dobbiamo "l'essenza" stessa di uomini di oggi.

Dunque gli argomenti di questo libro sono certamente d'interesse per tutti o, almeno, per tutti coloro che subiscono il fascino del "voler capire" in senso lato. In questa ottica l'Autore del testo non ha inteso scrivere il libro solo per coloro che posseggono basi tecnico-scientifiche ma ha presentato gli argomenti in modo che siano facilmente leggibili (senza noia, intendo) da qualunque persona abbia una certa cultura generale. Forse anche per questo motivo i vari argomenti non sono stati suddivisi in modo tradizionale ma raggruppati in quattro gruppi ciascuno dei quali (terra, acqua, aria e fuoco) rappresenta uno dei quattro elementi (o stati di aggregazione della Creazione?) secondo gli Alchimisti; secondo quegli studiosi, cioè, che con le loro ricerche intendevano percorrere un viaggio alla ricerca della natura stessa dell'Universo e, contemporaneamente, della propria interiorità.

Il libro può allora essere letto in due modi diversi.

Ciascuna delle realizzazioni del mondo antico trattate può essere letta come a se stante; in questo modo si potrà certamente comprendere il suo funzionamento e probabilmente ci si potrà stupire per la modernità della sua concezione e per l'ingegno dimostrato dal suo inventore.

Ma un secondo modo di leggere il libro è sicuramente più appagante: si può leggere il libro nel suo insieme affrontando tutti gli argomenti nelle sequenza con la quale gli Autori li presentano. In questo modo si sarà accettato l'invito che essi ci rivolgono a seguirli in un viaggio nella società di circa 2000 anni or sono per comprendere, tra le altre cose, le nostre radici di uomini prima ancora che di ingegneri. In questo senso, io credo, questi argomenti sono di interesse antropologico.

Non è il caso da parte mia, io credo, di presentare alcuno degli argomenti trattati nel libro: Flavio lo fa certamente molto meglio di quanto potrei farlo in una prefazione. Però su alcuni particolari ritengo sia utile richiamare l'attenzione:

Un primo aspetto da cogliere è che molte delle idee e delle invenzioni che ci sembrano modernissime sono, in realtà, frutto dell'ingegno di inventori di circa 20 secoli or sono; nell'uso quotidiano di allora, infatti, un numero sorprendente di "cose" che usiamo oggigiorno erano già presenti o nella forma attuale o almeno, nel principio di funzionamento.

Un secondo aspetto che emerge chiaramente è quello che in epoca imperiale doveva aver avuto luogo una rivoluzione industriale: è evidente infatti che in tutto l'Impero Romano era stata effettuata una estesa opera di "unificazione industriale" *ante litteram*; questo si evince piuttosto chiaramente dagli scritti di Vitruvio ed è evidente se si pensa alla inevitabile standardizzazione richiesta per tutto quanto veniva fornito alle Legioni che operavano in un impero tanto vasto. Una qualunque Legione, al suo arrivo in una qualunque regione dell'Impero, per quanto remota fosse, doveva certamente trovare sul posto attrezzature, rifornimenti e parti di ricambio identici a quelli in suo possesso. Dall'ambito militare a quello civile il passo per adottare l'unificazione delle forniture deve esser stato molto breve.

Infine, per quanto sia stata certamente molto più moderna ed avanzata di quanto si creda comunemente, la tecnologia del mondo Greco-Romano era una tecnologia "lenta" e tale che oggi potremmo anche definirla "a basso impatto ambientale". Aspetto quest'ultimo, mai come oggi, di straordinaria valenza indicativa.

Dalle realizzazioni presentate in questo libro emerge chiaramente, infatti, che nell'antichità molte delle nozioni fondamentali della statica e della cinematica erano già state sostanzialmente comprese. Trattandosi però di applicazioni a macchine piuttosto lente, le forze di inerzia erano relativamente di piccola entità e quindi la dinamica era molto meno conosciuta. Vale forse la pena di chiedersi se dietro questi aspetti tecnico-scientifici non ci sia stato anche un diverso modello culturale.

Un discorso a parte è doveroso fare per l'apparato iconografico, fotografico e virtuale di Ferruccio Russo, che costituisce la parte più accattivante e facilmente recepibile del volume. Mai come in questo caso le immagini forniscono una trattazione parallela efficace non per i soli addetti ai lavori, ma per qualsiasi lettore, indipendentemente dalle sue cognizioni tecniche.

Nel concludere questa mia breve introduzione vorrei esortare tutti coloro che avranno questo libro tra le mani a voler ripagare la passione che gli Autori hanno messo nel realizzarlo; per farlo non c'è che un modo: leggerlo.

Prof. ing. Cesare Rossi
Ordinario di Meccanica Applicata alle Macchine
Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli - "Federico II"
Titolare dei Corsi di: Fondamenti di Meccanica e Meccanica dei Robot

Introduzione

Il Mediterraneo è ritenuto il vero catalizzatore della civiltà occidentale e della sua evoluzione tecnologica. La facilitazione che consentì gli incontri e, soprattutto, gli scontri ne fu il presupposto: un mare baricentrico, sia pure solo parzialmente, ai margini di tre continenti, assurge a loro strada interna per antonomasia. Una strada priva di salite e di strettoie, di limiti di carico e di usura, di ostacoli e di barriere; una strada, in definitiva, geometricamente più breve e fisicamente più veloce. Mezzo ideale per gli scambi e i commerci. Ma, per la stessa ragione, altrettanto ideale per le incursioni, per le razzie e, più in generale, per le guerre! Non è affatto casuale che l'*Iliade*, la più antica composizione letteraria, riguardi un conflitto fra una città posta a controllo di uno stretto vitale ed una pletora di potentati marittimi: intuibili le motivazioni, al di là del romantico pretesto![1]

Già da queste scheletriche osservazioni emerge il ruolo tecnologicamente trainante della cultura militare, specie di quella connessa con la guerra navale. A differenza degli scontri sulla terra, infatti, i combattimenti sul mare non furono mai una sommatoria di duelli contemporanei fra due schiere di guerrieri; furono, invece, piuttosto degli scontri fra mezzi contrapposti e fra gli stessi e le forze della natura. Terra, acqua, fuoco ed aria entrarono sempre in modo preminente in quell'epica sfida umana sia come ambiti di combattimento, sia come supporti che come apporti.

Per quanto ripugnante possa sembrare, sin dalla notte dei tempi, la vera molla del progresso tecnologico è stata la guerra in ogni sua manifestazione. In particolare, più che la dinamica costruttiva ad essa certamente connessa, e basti in merito pensare alle strade delle legioni romane, alle fortificazioni di tutti i tempi, alle massicce produzioni di armi ed equipaggiamenti[2], è la dinamica distruttiva che ne ha amplificato ed accelerato gli sviluppi e gli avanzamenti.[3] Le ragioni sono molteplici e variegate, ma tutte appaiono sostanzialmente concordanti e, generalmente, riconducibili alla seguente osservazione: per costruire una qualsiasi opera militare, persino un ponte di circostanza, si dispone di tempo e di risorse materiali e

Sopra: *Il Cavallo di Troia, Vaso Funebre, c. 670 a.C., Museo Archeologico di Mykonos, Grecia.*
Sotto: *Veduta satellitare del Mediterraneo.*

1 Cfr. Y. GARLAN, *Guerra e società nel mondo antico*, Bologna 1985, pp. 29-34.
2 Cfr. M. HOWARD, *La guerra e le armi nella storia d'Europa*, Bari 1978, pp. 267-287.
3 Cfr. W.H. Mc NEILL, *Caccia al potere. Tecnologia, armi, realtà sociale dall'anno Mille*, Varese 1984, p. 292; E. CECCHINI, *Tecnologia e Arte militare*, Roma 1997, pp. 223-227.

L'esplosione di una bomba atomica in Polinesia, 1970.

umane, magari entrambe limitate ma pur sempre rilevanti e non di rado ampiamente superiori a quelle delle coeve realizzazioni pacifiche; al contrario per la distruzione, l'efficacia e quindi la valenza bellica sono inversamente proporzionali alla brevità del tempo di attuazione e all'entità delle forze necessarie per attivarlo. In altre parole, l'ideale a cui si tende da sempre sarebbe la massima distruzione, conseguita nel più breve tempo possibile con il minore coinvolgimento umano! Obiettivo teoricamente elementare da formulare e apparentemente facile da attuare ma, in pratica, terribilmente complesso da conseguire persino ai più modesti livelli.

Posta così la questione, trascurando l'implicito cinismo, non stupisce che il massimo riconoscimento alle migliori capacità intellettuali umane in ogni settore, il noto premio Nobel[4], sia stato istituito e finanziato dall'inventore della dinamite, reso ricchissimo dai colossali proventi della sua creatura, che altro non era se non la stabilizzazione della già nota nitroglicerina, composto ideale per i più svariati impieghi pratici, primo fra tutti quello militare. Né stupisce che la reazione di fusione nucleare dell'idrogeno, vanamente perseguita come traguardo energetico dell'umanità, sia già da oltre mezzo secolo correntemente impiegata nella bomba H, di inusitata potenza. Forse è proprio questo ordigno[5] la realizzazione più aderente alla delineata esigenza della massima distruzione nel minimo tempo e con la minima partecipazione!

Distruggere nelle modalità accennate, perciò, si è sempre confermato la sfida primaria per la mente umana nell'ambito della sfida spietata che è la guerra. Una sorta di sfida nella sfida, di specializzazione nella specializzazione da cui ne è derivata la massima spinta all'evoluzione tecnologica civile e pacifica. Come non ravvisare nei sofisticati dispositivi di vigilanza satellitare geografici, unica risorsa per attenuare la terrificante letalità delle catastrofi naturali, la stretta derivazione dagli analoghi utilizzati per sorvegliare un Paese nemico prima di attaccarlo? Come non riconoscere nel GPS, ormai strumentazione corrente di qualsiasi veicolo terrestre, marittimo o aereo, il micidiale navigatore da

4 Il 27 novembre del 1895 Nobel redasse il suo testamento definitivo nel quale stabilì di lasciare quasi tutte le sue ingentissime proprietà alla creazione di una fondazione che, con i relativi proventi, avrebbe dovuto conferire un premio a chi nel corso dell'anno precedente si fosse distinto nel settore della Fisica, Chimica, Fisiologia, Medicina, Letteratura e Pace, riconoscimento quest'ultimo assegnato dal Parlamento norvegese.

5 Cfr. F. MINI, *Fissione e fusione: una questione di «bombe» e di «perché»*, in *Esercito e scienza*, Modena 1991, pp. 234 -240; sullo stesso argomento cfr. anche U. COLOMBO, *La fusione nucleare in Europa*, in *Esercito…*, cit., pp. 241-245.

tempo adottato per guidare con estrema precisione i missili balistici? Che dire, poi, del *computer,* oggi *personal*, ma in realtà ideato e costruito per dirigere il tiro della contraerea in maniera automatica? E come commentare, infine, la rete planetaria di *Internet*, l'ultima in ordine cronologico delle rivoluzionarie infrastrutture militari cedute a impieghi civili, escogitata ed approntata per consentire comunicazioni clandestine in caso di invasione sovietica?

Dai Greci ai Romani

Posta in questi termini la questione, per delineare una sia pur schematica descrizione dei presupposti storici della tecnologia occorre indagare presso la potenza che più di ogni altra curò l'istituzione militare: Roma. In particolare gli aspetti tecnici meno divulgati, e perciò meno noti, utilizzati dalle legioni, in guerra ed in pace e, soprattutto, da esse cooptati da ogni compagine con la quale entrarono in contatto. Pertanto, in coincidenza con l'avvento dell'Impero, la tecnologia militare romana si può, a giusta ragione, reputare la sintesi delle più avanzate nozioni scientifiche e tecnologiche concepite, elaborate e verificate in qualsiasi angolo del bacino del Mediterraneo. Patrimonio culturale destinato a rievocarsi teoricamente e a riproporsi, solo molto larvatamente, nel successivo millennio, fin quasi all'invenzione della polvere pirica, per divenire la premessa per la ripresa della cultura moderna.

La ragione della precisazione va ravvisata in un precipuo aspetto della mentalità romana evidenziato in molteplici saggi e pubblicazioni: la sua preclusione alla mera speculazione intellettuale[6], all'elaborazione scientifica pura, allo studio sistematico che, invece, caratterizzò quella greca. Si tratta, ovviamente, di generalizzazioni scolastiche ma che non vanno rigettate del tutto, cogliendo almeno in questo caso un aspetto essenziale della questione. I Romani, infatti, e di ciò ebbero sempre non solo esatta percezione ma anche un ostentato compiacimento, evitarono di cimentarsi con problemi astratti e si concentrarono, invece, sulla più efficace risoluzione dei concreti, lasciando agli altri la formulazione delle ipotesi e delle regole che poi magari impiegavano. Non ebbero, e forse in questo insiste la spiegazione della loro grandezza, alcuna invidia della genialità creativa, peraltro non apprezzata nella sua essenza, al punto da riconoscerla volentieri persino alle menti servili. Non per questo, però, le reputavano meno umili, non vergognandosi

Calendario romano di epoca imperiale, I sec. d.C.. Su ogni faccia una stagione con i tre rispettivi segni zodiacali.

di sfruttarne i vantaggiosi apporti, innanzitutto nel settore militare e poi in quello civile.

Di certo i migliori ingegneri dell'antichità furono tuttavia romani, ma: "*il Romano rimase sempre, nell'animo, un agricoltore. Non aveva una mentalità scientifica e la maggior parte della sua scienza è greca o ispirata ai Greci. Persino la Roma imperiale mostra la rozzezza e il senso pratico del contadino. I Romani disprezzavano e temevano la scienza pura, che sembrava loro una perdita di tempo…* [Tuttavia] *i Romani si curavano almeno della scienza applicata. Erano mediocri biologi ma attenti osservatori della natura, cattivi matematici ma buoni ingegneri; non dettero alcun importante contributo all'astronomia ma riformarono il calendario. Perfino nel campo militare i Romani non fecero invenzioni importanti. La scienza era apprezzata solo quando dava risultati concreti e utili allo stato. I Romani non ebbero la pazienza degli scienziati ellenistici, che cercavano di scoprire le leggi della natura: furono invece grandi giuristi e abili politici che promossero le scienze solo in quanto fossero d'aiuto nell'assolvimento delle funzioni pubbliche.*"[7]

In poche parole furono degli ottimi ingegneri, privi però di qualsiasi preparazione teorica, per cui si

6 Cfr. W.H. STAHL, *La scienza dei Romani*, Bari 1974, pp. 85 e sgg.

7 Da R. J. FORBES, *L'uomo fa il mondo*, Torino 1960, p. 82.

Il ponte sul Reno di Apollodoro, raffigurato sulla Colonna Traiana.

limitarono a perfezionare e utilizzare le altrui scoperte e invenzioni, a patto che fossero rispondenti alle loro esigenze del momento. Emblematicamente: "*è fuor di dubbio che i Romani ebbero ingegneri migliori dei Greci; però gli ingegneri romani non possedevano una preparazione scientifica, e quel poco di matematica che era necessario all'esercizio della loro professione poteva venire applicato nella pratica anche se mancava un'autentica comprensione della teoria. Del resto anche tra gli stessi Greci era molto ridotta la percentuale della popolazione impegnata nella ricerca scientifica o comunque dotata di una preparazione scientifica… e raramente i Greci sfruttarono a fini pratici le loro conoscenze scientifiche; l'unica eccezione era costituita dalle arti belliche…*"[8]

Volendo esemplificare quanto delineato, a nessun generale romano interessò mai di lasciare una rinomanza storica per la sua genialità tecnica, dimostrata in una qualche invenzione, o per la sua capacità speculativa, confermata da una qualche costruzione di fondamentale interesse pubblico. Anche quando ne avrebbe avuto il pieno merito ed il conseguente diritto, non reputò tale fama neppure lontanamente paragonabile a quella guadagnata sul campo di battaglia, spesso in scaramucce insignificanti. La conferma, se mai ve ne fosse bisogno, la si può cogliere nella notorietà dei singoli comandanti di ogni episodio militare, indipendentemente dalla sua rilevanza o dal suo esito. Per contro l'assoluto anonimato avvolgeva chi progettò e realizzò le superbe strade che favorivano quelle iniziative o i congegni che ne agevolavano i successi, o anche le primitive reti di teletrasmissioni che garantivano la continuità dei rapporti. Silenzio assoluto persino sui criteri e sui dirigenti della produzione standardizzata delle grandi fabbriche d'armi in grado di equipaggiare eserciti di diverse decine di migliaia di uomini, tanto per menzionare un settore che necessariamente coinvolse un enorme numero di dipendenti ed ingoiò per secoli immense quantità di denaro pubblico. Buio totale nelle fonti sia letterarie che iconiche di qualsiasi natura e a qualsiasi livello.

La tecnica in generale, e quella militare in particolare, non suggestionava né coinvolgeva il pensiero romano, per cui non innescò mai alcuna emulazione, né fornì spunti agli artisti. Dal momento che serviva andava con-*servata*, cioè salvata, esattamente come si faceva per i servi, conservati soltanto perché da sfruttare in ogni lavoro, non a caso definito servile. Il divario imperante fra libero e schiavo si manifestava pienamente fra filosofo e meccanico, fra scienza e tecnica, fra conoscenza e applicazione. Del resto, già in precedenza i Greci avevano determinato una rigida separazione fra le due realtà,[9] per cui l'applicazione pratica di una conclusione scientifica, non suscitava alcun

8 Da W. H. STAHL, *La scienza…*, cit., p. 8.

9 Cfr. D. A. FLOWER, *I lidi della conoscenza. La storia dell'antica biblioteca di Alessandria*, Roma 2002, pp.85-86; più in particolare cfr. L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, Milano 2003, pp.156-164.

Sopra: *Reperto di corazza romana segmentata e ricostruzione grafica della stessa.*
Sotto: *Varie fogge di elmi romani.*

disprezzo solo quando avveniva sotto forma ludica. Un giocattolo molto complesso e, dal nostro punto di vista, ricco di promesse sfortunatamente tradite: fu tale, ad esempio, la turbina a vapore di Erone, che non andò mai oltre la mera curiosità, o il suo carrello semovente a percorso programmabile!

Con i Romani, purtroppo, quell'atteggiamento mentale si aggravò ulteriormente saldandosi col suddetto disinteresse scientifico. Logico allora, stando a Seneca, che tutte: "*le invenzioni contemporanee, l'uso dei vetri trasparenti, del calorifero… sono tutte opera dei più vili schiavi, di menti esperte, penetranti se vogliamo, ma non certo grandi menti, di menti elevate, come d'altra parte è vile tutto ciò che può ricercare il corpo chino, lo spirito rivolto alla terra. Queste invenzioni sono opera del raziocinio, non dell'intelletto: tutta questa abbondanza d'invenzioni superflue assoggetta l'anima al corpo, divenuto da schiavo padrone.*"[10]

A una così esplicita repulsione non fece mai riscontro un altrettanto netto rifiuto della tecnica e della tecnologia, come accennato, ma anzi è frequente, e significativo, constatare sistematicamente il contrario. Le ville romane, dotate dei più sofisticati confort, quali ad esempio evoluti sistemi di rifornimento idrico o di riscaldamento, appartennero non di rado a famosi generali o ad imperatori reduci da campagne belliche, spesso ai confini dello sterminato impero. Fenomeno che non va ascritto prioritariamente alle loro ingenti ricchezze, ma piuttosto alla loro migliore percezione di quanto tecnologicamente utile era già disponibile nelle regioni conquistate. Personaggi con ben precisi ruoli istituzionali dai quali sarebbe stato lecito attendersi un'austerità di abitudini si mutarono, invece, prima in una sorta di collettori tecnologici e poi in esaltatori e divulgatori di quanto appreso. Il che non modificò minimamente la viscerale disistima verso gli artefici di quelle invenzioni e la tecnica in generale, di cui peraltro non si sforzarono mai di comprendere, al di là della spiccia funzionalità, la portata potenziale. In merito è stato osservato che la relativa letteratura: "*latina rende onestamente riconoscimento all'apporto degli autori delle altre civiltà verso cui è largamente tributaria. Tecnico mediocre, il latino sente*

10 Da B. GILLE, *Storia delle tecniche,* Roma 1985, p. 197.
11 *Ibid.,* p. 206.

A fianco, dall'alto: *Ricostruzione della turbina a vapore,* eolipila, *di Erone. Lastra di vetro per finestre e verande, rinvenuta ad Ercolano. Sistema di riscaldamento romano su* sospensurae.

il bisogno di appoggiarsi sugli altri almeno quanto quello di manifestare la propria erudizione. Si nota qui subito il carattere del tutto particolare di questa letteratura. Si tratta, più che di una tecnologia propriamente detta, dell'inserimento di norme tecniche in un'organizzazione generale."[11]

Un perfetto esempio di quanto delineato si coglie nel X libro del *De architectura* di Vitruvio, una specie di trattato enciclopedico sull'architettura romana. In esso il celebre autore, vissuto in età augustea ed a suo dire ingegnere nelle legioni di Cesare, si sofferma a descrivere le macchine e le armi collettive di uso corrente in ambito civile e militare. L'enunciazione delle artiglierie elastiche, però, è talmente pedante e al contempo lacunosa e approssimata circa le relative componenti essenziali, da far motivatamente dubitare della sua qualifica professionale. Lacune che, soltanto accettando quanto esposto, si possono giustificare in un ingegnere militare che, per giunta, si avvale ancora della nomenclatura greca per le componenti di armi ormai impiegate da oltre due secoli nell'esercito romano! Del resto è, di sicuro, emblematico constatare che in generale i Romani non fornirono: "*alcun contributo allo sviluppo della tecnologia militare fino all'anonimo autore del De rebus bellicis (IV secolo d.C.).*"[12]

Giustamente vari studiosi hanno scorto nei Romani gli Americani dell'antichità: discepoli scrupolosi e zelanti nell'applicare le poche nozioni apprese, praticanti solerti e acuti nel perfezionarle in ogni possibile impiego e, soprattutto, sufficientemente ricchi per tollerare un eccessivo empirismo. Non a caso tra le loro celebrità: "*non annoverano nessuno scienziato di fama, così come, per ragioni probabilmente identiche, non ebbero nessun tecnico di genio… Essi sanno curare l'esecuzione, se non addirittura la rifinitura, ma non si perdono in minuzie e ragionano poco; e i loro successi sono una serie di successi individuali, da cui non si risale alle vere cause. Dei meccanici di Alessandria essi hanno preso le realizzazioni ma non lo spirito…*"[13]

Attratti certamente dal mondo della scienza, ma non tanto da sobbarcarsi la fatica di studi seri e sistematici, i Romani si limitarono ad accettare le conclusioni dei Greci, magari quelle più estreme e scarsamente dimostrate, ma senza dubbio le più fascinose per mentalità acritiche e infantili, per giunta tramite riassunti e prontuari. Le vere difficoltà: "*si incontrano quando si cerca di stabilire la portata effettiva del debito contratto dai Romani nei confronti dei Greci per quanto riguarda i vari campi della tecnologia… enormemente maggiori di quelle in cui ci si imbatte quando si cerca di accertare le linee di trasmissione della scienza teorica dalla Grecia a Roma. I teorici sono intellettuali che mettono per iscritto i loro pensieri, e di conseguenza lasciano tracce inequivocabili dei loro*

Sopra: *Busto in marmo di Giulio Cesare, 50 d.C..*
Sotto: *Ponte-acquedotto romano di Gard, su tre livelli, con una portata di 20.000 mc al giorno.*

12 Da L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, terza edizione Milano 2003, p. 135.
13 Da B. GILLE, *Storia delle…*, cit., p. 209.

debiti nei confronti di altri: ma agli ingegneri e ai meccanici dell'antichità non interessava minimamente il modo in cui aveva avuto origine, nell'uso quotidiano, una tecnica, uno strumento o un utensile. Sappiamo comunque che i Romani ricorrevano di frequente a tecnici greci per i lavori più complessi, come ad esempio la costruzione di macchine d'assedio o di acquedotti."[14]

Questo almeno nelle fasi d'approccio con una nuova disciplina tecnica, salvo poi portarla ai limiti estremi delle sue potenzialità, una volta verificatane la rispondenza. Certamente i tecnici greci seppero molto prima dei Romani procedere alle levate plano-altimetriche di precisione, indispensabili per la costruzione dei lunghi acquedotti. Ma furono i tecnici romani, però, che, da un determinato momento in poi, li realizzarono sistematicamente in tutti i territori, senza alcuna incertezza e al minor costo: per precisione gli ingegneri delle legioni. Ambiguità che può reputarsi una delle singolari peculiarità della tecnologia, per cui: "*è un errore ritenere che, tra i popoli del mondo antico, l'abilità nella meccanica, nelle arti e nei mestieri rispecchiasse fedelmente le loro capacità intellettuali... La storia della tecnologia corrisponde in poco o nulla a quei modelli di evoluzione graduale, di ritardi e di risvegli che siamo abituati a osservare nella storia della cultura dei primordi, del Medioevo e del Rinascimento*".[15]

Sensato, pertanto, concludere che nonostante i ritardi di apprendimento, la limitata comprensione nei confronti della scienza pura, il disinteresse verso la teoria e per contro la vivace propensione allo sfruttamento pratico di procedimenti, strumenti e utensili, il trasferimento della tecnologia dalla cultura greca alla romana avvenne in maniera netta ed ampia grazie soprattutto alle pressanti esigenze militari. In definitiva una sorta di osmosi pilotata e mirata da entrambe le parti.

Dinamica della tecnologia militare

Come in precedenza più volte evidenziato, lo stimolo e la finalità primaria per l'evolversi della tecnologia furono essenzialmente militari, sebbene non tutti gli studiosi concordino su questa conclusione, pur ammettendo il ruolo primario svolto dalla guerra. Per essi: "*la tecnica e l'ingegneria non furono gli unici fattori che contribuirono allo sviluppo della scienza, né la scienza fu l'unica fonte della tecnica, a parte le esperienze pratiche. Ambedue i campi sono intimamente connessi con le altre attività umane, concorrono al loro progresso e insieme ne traggono alimento, in un reciproco scambio. Ambedue possono ricevere impulso dalla guerra, ma non bisogna dimenticare che i risultati così acquisiti appartengono al ristretto campo dell'arte militare e che le nuove armi, o altre invenzioni ottenute ad alti costi e con gran dispendio, avrebbero potuto essere fatte in tempo di pace con molta minor spesa...*"[16]

Il ragionamento esposto nella citazione, anche ignorando l'invalidante *avrebbero potuto esser fatte*, assurdo in ambito storico, ha un errore di fondo: supporre che la tecnologia e l'ingegneria abbiano avuto un coinvolgimento con il mondo militare limitato alle sole armi o ai congegni bellici. La realtà, invece, fu ed è molto più ampia e variegata investendo l'intero apparato produttivo, in ogni suo snodo, essendo l'istituzione militare da sempre totalizzante, una comunità in miniatura completa però di tutte le funzioni di quella statuale. Volendo esemplificare, anche la comunissima scatoletta di cibo è un'invenzione scaturita dall'esigenza di disporre in guerra di razioni alimentari a lunga conservazione, facili da trasportare e pronte per l'uso. Certamente la tecnologia sarebbe, prima o poi, pervenuta a quel risultato, indipendentemente dall'esigenza militare, ma fu quest'ultima a precederla, come nella quasi totalità dei casi. Il suo ruolo diviene preminente, e non potrebbe essere altrimenti, nella tecnologia delle armi e delle loro strette derivazioni civili. Non a caso infatti: "*da quando la scienza esiste, la tecnologia militare è sempre stata una motivazione e un'applicazione importate. In particolare la meccanica elaborata intorno al Seicento e la meccanica ellenistica appaiono collegate con le principali applicazioni militari delle due epoche, cioè armi da fuoco e catapulte. Nel primo caso la meccanica non può intervenire sull'energia impressa al proiettile (che dipende da una reazione chimica che sfugge alla scienza quantitativa dell'epoca) e gli scienziati si concentrano sul moto del proiettile. È ben noto, infatti, che la scoperta delle leggi del moto dei gravi fu stimolata in modo essenziale dal problema di determinare le traiettorie dei proiettili. All'epoca delle catapulte, invece, il proiettile è spinto da una forza di natura elastica, che può essere calcolata e modificata con i metodi scientifici*

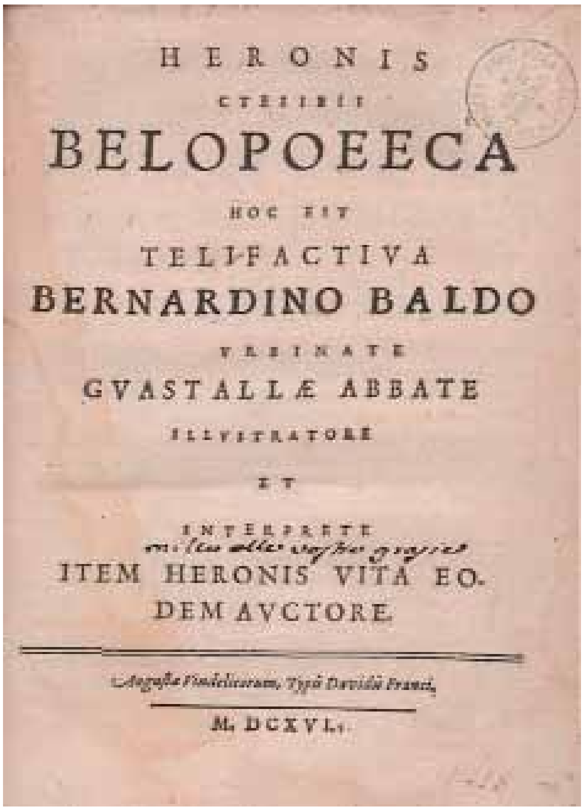
14 W. H. STAHL, *La scienza...*, cit., p. 9.
15 W. H. STAHL, *La scienza...*, cit., p. 9. Per approfondimenti cfr. F. RUSSO, *Leonardo inventore? L'equivoco di un testimone del passato scambiato per un profeta del futuro*, Napoli 2009, pp. 13-179.

16 Da R. J. FORBES, *L'uomo fa ...*, cit., p. 22.

dell'epoca. Anche se non è chiaro perché non vi fosse un interesse a studiare la traiettoria del proiettile (ma siamo certi che non vi fosse?), la lettura delle opere ellenistiche di tecnologia militare dimostra che la meccanica archimedea aveva importanti applicazioni alle armi da getto.

La rilevanza della scienza per la tecnologia militare realmente usata è provata non solo dall'efficacia delle armi progettate scientificamente, ma anche dal fiorire della trattatistica sulla tecnologia militare. Evidentemente le conoscenze elaborate dagli scienziati non potevano essere usate dai costruttori se non attraverso l'uso di trattati specialistici. Nonostante l'evidente riservatezza di tali argomenti, sappiamo di vari trattati, in particolare sulla costruzione di armi da getto (belopoeica) *e sulla costruzione di macchine per assedio* (poliorcetica)*...*"[17]

I trattati inerenti alla tecnologia militare, infatti, non scarseggiavano nell'antichità classica, come del resto non difettano attualmente le ricerche sulla storia della tecnologia militare e civile. Finora sono stati pubblicati talmente tanti testi da poter riempire intere biblioteche: opere spesso pregevoli ed attendibili, con conclusioni non di rado d'indubbio e rilevante spessore. Alcuni di essi, poi, basano le loro deduzioni sulle realizzazioni greco-romane, proprio sulle suddette fonti che integrano e correlano con i reperti iconografici pervenutici, a vario titolo, da quel contesto storico. Procedura certamente efficace ma che, purtroppo, deve destreggiarsi fra la frammentarietà dei manoscritti salvatisi, per giunta sempre privi dei relativi grafici esplicativi, e l'oggettiva difficoltà di comprendere le fonti iconiche per lo più decontestualizzate. In merito agli scritti va osservato che: "*la gravità*


HERONIS
CTESIBII
BELOPOEECA
HOC EST
TELIFACTIVA
BERNARDINO BALDO
VRBINATE
GVASTALLÆ ABBATE
ILLVSTRATORE
ET
INTERPRETE
ITEM HERONIS VITA EODEM AVCTORE.
Augustæ Vindelicorum, Typis Davidis Franci,
M. DCXVI.

Sopra: *Frontespizio della traduzione della Belopoeeca di Erone, pubblicata nel 1616.*
In basso: *Particolare di un bassorilievo con scena di battaglia navale, relativa forse a quella di Azio.*

della distruzione delle opere ellenistiche è stata spesso nel passato sottovalutata, in base alla ottimistica teoria che quelle sopravvissute fossero le migliori. Si era pensato che la civiltà classica avesse tramandato alcune opere fondamentali che erano riuscite a includere le conoscenze contenute negli scritti perduti. Purtroppo questa visione ottimistica si è rivelata destituita di fondamento.

17 Da L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata...*, cit., p. 136.

I lavori migliori, infatti, non possono salvarsi grazie a un meccanismo automatico di selezione naturale in presenza di un generale regresso della civiltà… La selezione dei posteri ha privilegiato le compilazioni o, in ogni caso, gli scritti che usavano un linguaggio ancora comprensibile nella tarda antichità e nel medioevo, quando la civiltà era regredita al livello prescientifico…"[18]

Quanto alle raffigurazioni dell'epoca, quale che ne sia la tipologia, giustamente è stato osservato che devono essere vagliate con cautela, in quanto in genere sono affette da una stravolgente aberrazione: "*l'appiattimento bidimensionale che gli artisti dell'epoca non sapevano superare e dunque risultano difficilmente decifrabili. Si pensi, ad esempio, alla questione delle imbarcazioni, delle quali possediamo una grande quantità di raffigurazioni, ma nessuno oggi potrebbe affermare con precisione come erano fatte le architetture superiori delle navi antiche; si pensi anche alla groma che, nota attraverso il rilievo funebre di un agrimensore eporediese, non fu mai compresa nella sua tipologia fino al ritrovamento, avvenuto a Pompei nel 1912, delle parti che la componevano.*"[19]

Le difficoltà d'interpretazione, per l'aberrazione accennata, vengono ulteriormente accentuate dall'irreale dimensionamento dato alle figure; per meglio dire, dalla grandezza convenzionale assegnata alle figure, animate e inanimate, per giunta fatta spesso variare nella medesima rappresentazione. Un oggetto, un congegno, un individuo non hanno nel contesto iconografico, quale che sia, un preciso rapporto rigidamente prospettico con il resto della scena, né vagamente prospettico, ma le loro dimensioni sono discrezionali e mutano in base alla rilevanza che, a parere dell'artista, vi svolgono. Una gru, ad esempio, può risultare molto più piccola del carico che sta sollevando se quest'ultimo è costituito da una preziosa opera d'arte, o da un emblematico elemento costruttivo, o da un dettaglio preminente della scena raffigurata. E, solo per mera aderenza realistica, vengono inseriti alquanti particolari, più o meno completi e più o meno esatti, che per noi, non di rado, costituiscono l'aspetto fondamentale. Ma anche per le loro proporzioni sussistono sia l'anzidetta aberrazione sia la medesima convenzione, variando in base alla loro supposta e discrezionale rilevanza nel congegno. Rilevanza, sia detto per inciso, che può accrescersi per la loro recente introduzione, per la loro sperimentata efficacia o, persino, per il loro esorbitante costo, criteri comunque non necessariamente riconducibili alla preminenza meccanica che vi possiamo cogliere.

Roma, Colonna Traiana: macchine non identificate.

Una categoria iconica a parte, peraltro ampia e variegata, è quella concernente oggetti e congegni a noi del tutto ignoti, dei quali non siamo in grado di spiegarne né la funzione né la finalità. Spesso poi questi oggetti non identificati, una sorta di UFO del passato, spiccano su monumenti di straordinaria notorietà, mai sottratti alla vista neppure per breve tempo. Volendo anche di ciò fornire un significativo esempio, è il caso di alcune macchine belliche raffigurate sulla Colonna Traiana,[20] di cui non si dispone della benché minima allusione scritta e le cui interpretazioni sono assolutamente inefficaci e prive di fondamento. Per la verità, talvolta, per circostanze meramente fortuite si è giunti alla risoluzione di tali enigmi archeologici: ma nella maggioranza dei casi ciò non è stato possibile e vi sono scarsissime speranze di poterlo fare.

Simili concettualmente alle immagini indefinibili anche le tracce enigmatiche che, pervenuteci spesso in gran numero e con caratteristiche grossomodo costanti, non sono state ancora decifrate in maniera soddisfacente. Tali, sempre per esemplificare, i piccoli solchi evidentemente destinati alle ruote dei carri, dei quali alcuni fra i più precisi si trovano persino a Pompei, da non confondere, però, con le disordinate e casuali tracce da usura lasciate nel basolato dal loro degrado. Emblematica la rete di rotaie siffatte presenti a Malta, fatte risalire al II millennio a.C. ed il cui sviluppo attinge varie centinaia di chilometri.

18 Da L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata…*, cit., p. 25.
19 Da G. DI PASQUALE, *Tecnologia e meccanica. Trasmissione dei saperi tecnici dall'età ellenistica al mondo moderno*, Città di Castello 2004, p. 11.
20 Cfr. L. ROSSI, *Rotocalchi di pietra. Segni e disegni dei tempi sui monumenti trionfali dell'Impero Romano*, Milano 1981, pp. 50-56.

Sopra: *Veduta aerea dell'area archeologica di Pompei.*
Sotto: *Veduta aerea dell'area archeologica di Ercolano.*

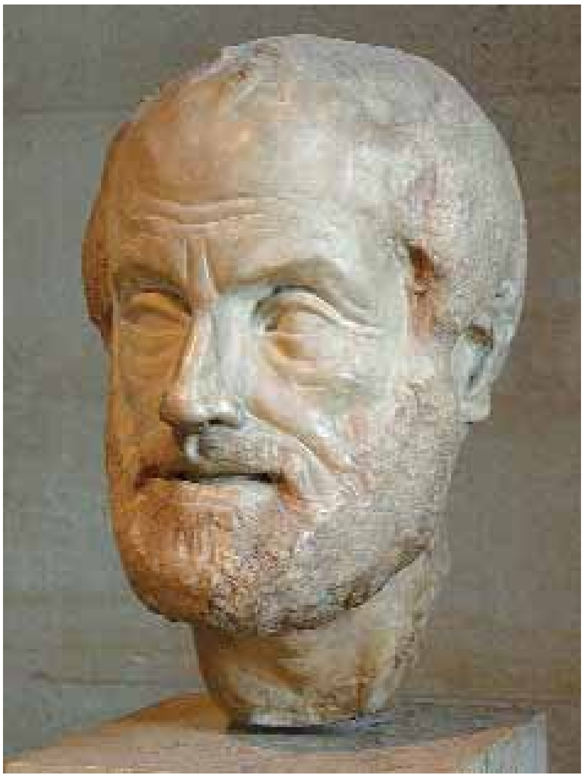
Le incongruenze dell'attuale pubblicistica

Assodato che serie ricerche sulla tecnologia antica non mancano, sembrerebbe del tutto inutile proporne un'ennesima sull'argomento che, per ovvia conseguenza, finirebbe col ripetere le stesse osservazioni. Anche restringendo l'indagine al solo settore militare, già individuato come pilota dell'intera evoluzione tecnologica, per le ragioni accennate e che verranno esaminate in seguito, il rischio resta immutato. Ad inficiare però l'obiezione, apparentemente stringente, interviene un apporto dinamico, stranamente rimosso: i tanti rinvenimenti archeologici che restituiscono reperti inusuali, in particolare a Pompei ed a Ercolano, finiscono spesso malintesi o incompresi del tutto per cui andrebbero considerati la variante tridimensionale delle raffigurazioni enigmatiche, cui prima si è accennato. Il loro incrementarsi per il proliferare degli scavi, se da un lato ha ampliato la quantità di oggetti necessariamente da ricondursi alla quotidianità, dall'altro ha moltiplicato il già vastissimo ambito di quelli misteriosi. Dal momento che ogni realizzazione umana, specie se complessa e costosa, deriva da una stringente razionalità, è innegabile che alle loro spalle vi sia stata una tecnologia a noi praticamente ignota e insospettata. Il che induce, proprio per la rilevanza di tali rinvenimenti, ad un approccio più corretto nonché ad un'interpretazione meccanica, non essendo più possibile ritenerli sempre delle singolari ed estemporanee stranezze, o peggio ancora degli abusati *oggetti di culto*. E le conclusioni sovvertono, non di rado, risultati ormai acclarati e scontati, rendendo perciò non solo auspicabile un lavoro del genere ma ormai, persino, necessario. Utile, soprattutto, per la rielaborazione delle rievocazioni storiche che, troppo spesso, si confermano assurde e inattendibili per non aver tenuto alcun conto degli apporti della tecnica.

Un contesto cronologico sviluppatosi e protrattosi fra il IV secolo a.C. ed il I d.C., in buona parte coincidente con l'età ellenistica e per questo ricchissimo di intuizioni e di sofisticate premesse tecniche, svanì nelle tenebre che avvolsero la civiltà dopo la tragica dissoluzione dell'Impero d'Occidente. Ed è per lo meno significativo osservare che, nel corso del Medioevo, fu sempre data per scontata la superiorità assoluta della tecnologia di epoca classica, vera età dell'oro della scienza e della meccanica. I riferimenti fin troppo espliciti, sebbene enigmatici, non mancano. Scriveva ad esempio Ruggero Bacone (1214-1294), nella sua *Epistola de secretis operibus,* questo significativo brano:"*è possibile costruire macchine per navigare senza rematori così che le grandi navi, fluviali e marine, possano muoversi controllate da un solo uomo più velocemente che se fossero piene di uomini. Parimenti potrebbero farsi carri non tirati da alcun animale, che procedano con incredibile velocità, come crediamo siano stati i carri falcati con i quali combattevano gli antichi. Si potrebbero poi costruire macchine per volare, nelle quali un uomo siede girando un congegno grazie al quale ali artificiali battono l'aria, come in un uccello che vola. Inoltre si potrebbero fare strumenti che siano piccoli in sé, ma che siano sufficienti a sollevare e abbassare pesi enormi, la cui utilità è insuperabile…*

Si potrebbe anche facilmente realizzare una macchina con la quale un uomo solo può trascinare a sé mille uomini contro la loro volontà e attrarre anche altri oggetti. Si potrebbero anche costruire macchine per camminare nel mare, nei fiumi, scendendo sul fondo senza pericolo per il corpo. Alessandro Magno le usava per vedere i segreti del mare, come racconta l'astronomo Etico. Queste cose furono costruite nell'antichità e sono state costruite ai nostri tempi, com'è certo; tranne per la macchina per volare, che io non ho visto, né ho conosciuto chi l'abbia vista; ma conosco uno studioso che ha trovato il modo di progettare questo congegno."[21]

Emblematica la menzione di Alessandro Magno, un implicito riconoscimento della cultura ellenistica che, forse, sottintende qualcosa di più. Non può, infatti, essere una mera coincidenza il riferimento alle immersioni subacquee compiute dal mitico sovrano, alunno di Aristotele, e l'esatta descrizione lasciataci



21 La citazione è tratta da L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata…*, cit., p. 165.

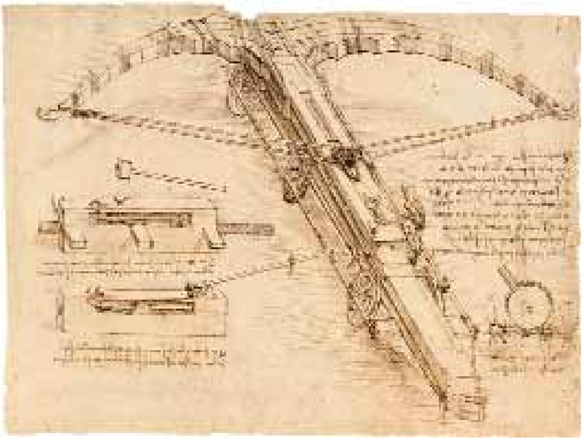
A fianco, dall'alto: *Busto di Ruggiero Bacone. Miniatura medievale raffigurante Alessandro Magno durante un'immersione con una campana pneumatica. Testa di Aristotele.*

proprio da quest'ultimo della campana pneumatica usata per scendere sui fondali marini! Di quanti congegni, già di impiego corrente in età ellenistica, in seguito si persero completamente le tracce? Quante testimonianze relative alla loro concreta presenza sopravvivevano ancora al Medioevo, suggerendo alla fantasia di molti ingegneri rinascimentali macchine certamente razionali ma, ormai, inutili e non spiegabili? Quanto lo stesso Leonardo da Vinci fu epigono di quel passato, prima di essere scambiato per profeta del futuro?[22]

Negli stessi anni, intorno al 1230, Roberto Grossatesta affermava a sua volta, nel *De Iride*, che le branche principali dell'ottica erano tre e di esse la terzultima, quella della rifrazione: "*presso noi* [Latini] *rimase finora totalmente sconosciuta. Sappiamo, tuttavia, che Aristotele se ne occupò, che per la sua sottigliezza è molto più difficile delle altre e che per la profondità dei fenomeni considerati fu di gran lunga la più mirabile. Infatti questa parte dell'ottica, se perfettamente conosciuta, ci mostra il modo in cui possiamo far apparire vicinissime le cose molto lontane, grandi le cose vicine piccolissime, e grandi a nostro piacere le cose piccole lontane*..."[23]

Quasi superfluo ogni ulteriore commento ai due brani: a quali nozioni tecniche e di quale epoca facevano riferimento? Una vacua esposizione delle invenzioni fantastiche o un'ermetica conclusione ispirata dalla lettura di antichi manoscritti in seguito scomparsi? In un caso o nell'altro entrambe le citazioni parrebbero, in ultima analisi, scaturire da un antesignano romanticismo, un tentativo di sfuggire in un mitico passato alle angosce di un tragico e miserabile presente! Ma potrebbero, altresì, costituire l'estremo retaggio di una memoria tecnica la cui dissoluzione definitiva coinciderà con l'avvento della rinascita. Un po' quello che accade alla piccola fiamma di una candela all'accendersi di un faro!

Del resto l'ipotesi è condivisa, a differenza della conclusione, dal momento che: "*una tecnologia in molti casi superiore a quella disponibile nell'Europa medievale era realmente esistita e l'ammirazione per tale tecnologia si riaccende soprattutto nelle epoche e negli ambienti in cui si recuperano opere classiche: è plausibile che all'origine di questa tradizione vi fosse il ricordo di antiche conoscenze. La circostanza che alcuni autori medievali potrebbero aver avuto accesso a opere oggi non disponibili accresce l'interesse della loro testimonianza ma la diffusa contaminazione degli eventuali elementi con base reale con elementi di altra natura, spesso magici, ne rende difficile l'uso*."[24]

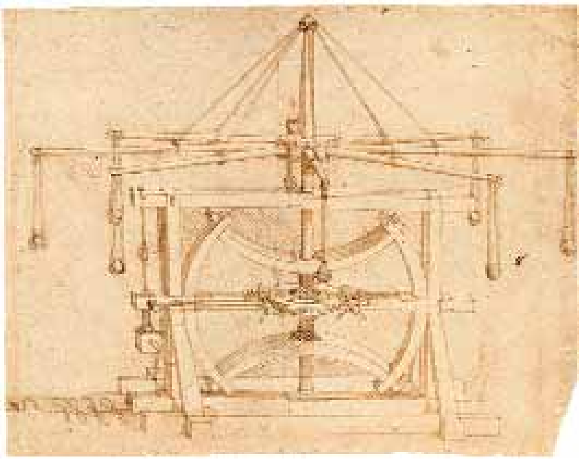


Il balestrone gigante di Leonardo da Vinci, Codice Atlantico f. 149r.

Quale che sia stata l'esatta origine dell'innegabile curiosità, alla stessa sembrano obbedire pure alcuni disegni leonardeschi altrimenti inspiegabili per il loro anacronismo tecnologico. Per quale ragione, ad esempio, se non per la curiosità di verificare graficamente un antico codice, il grande artista si sarebbe trastullato a disegnare velleitarie baliste e risibili mangani, in uno scorcio storico dominato dai moderni e micidiali cannoni di Carlo VIII?[25] Come supporre che la sua speculazione, abitualmente reputata presaga di un futuro remoto, di fronte a quei poderosi mostri della più avanzata tecnologia militare si sarebbe trastullata con artiglierie elastiche, di ellenistica memoria? Perché escogitare un elemento tanto complesso quale la catena a maglie piane per una funzione tanto marginale da richiedere solo poche maglie, se non per una malcelata emulazione di una soluzione cinematica riapparsagli da un remoto passato? Perché degnarsi di copiare la draga rotante di Francesco di Giorgio Martini, se non per la sua risaputa efficacia, per noi confermata dalle tracce di età romana ricomparse a Napoli? Come eseguire tante minuziose tavole anatomiche essendo rigidamente vietata la dissezione? Di una almeno sappiamo la fonte, che a sua volta fu forse di

22 Cfr F. RUSSO, *Leonardo inventore...*, cit., pp. 13-179.
23 La citazione è tratta a L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata*..., cit., p. 400.

24 Da L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata*..., cit., p. 165.
25 Cfr. F. RUSSO, *La murazione aragonese di Napoli: il limite di un'era*, in A.S.P.N., n° CIII intera col., Napoli 1985, pp. 112 e sgg. Ed ancora cfr. F. RUSSO, *Fortificazioni e artiglierie aragonesi*, in Atti Conv. Naz. Studi Pietramelara 14-15 giugno 96, Roma 1996, pp. 54-65.



Dall'alto: *Il mangano a ripetizione, Codice Atlantico f. 159r a confronto con un coevo cannone del tipo portato in Italia da Carlo VIII. Un disegno anatomico di Leonardo da Vinci affiancato ad una pagina di un codice anatomico di Ibn Nafis del XIII sec..*

seconda mano, provenendo da qualche codice alessandrino: la celebre tavola relativa al feto nel grembo materno è la riproduzione speculare di una identica raffigurazione tratta da un manoscritto islamico del XIII secolo![26]

L'accuratezza dei disegni e la precisa assonometria non si conciliano affatto con una lenta elaborazione progettuale e, implicitamente, confermano la derivazione da ignoti codici. E sempre nella stessa direzione sembrano condurre pure le ricorrenti definizioni di *magico,* applicate a tecniche, strumenti e congegni di certo esistenti nell'antichità classica, ma persi nell'alto Medioevo.

Magiche furono le grandi muraglie megalitiche, che, per la sbalorditiva enormità e l'inusitata precisione dei conci, vennero attribuite a squadre di fate o a schiere di demoni: ma si trattava del faticoso risultato della prima tecnica antisismica della storia!

26 Per l'esattezza si tratta della famosa tavola anatomica raffigurante il feto nell'utero in posizione da vivo, duplicata senza alcuna modifica dalla miniatura del codice arabo di Ibn Nafis (1203-1288) Trattato di ginecologia.

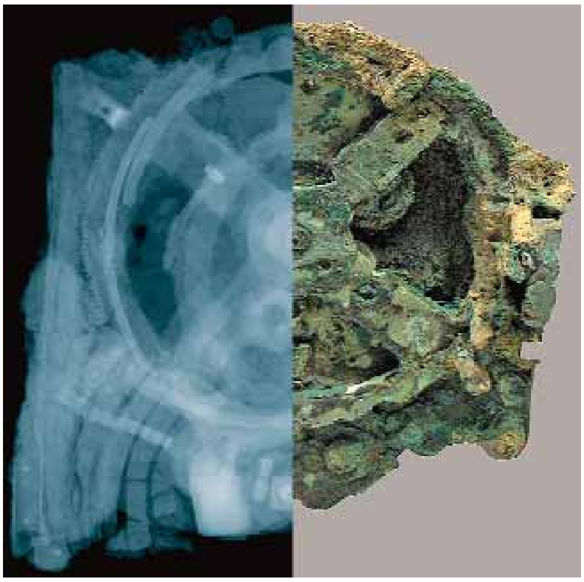
Magiche furono pure le grossolane lenti d'ingrandimento, che i Romani conoscevano ed usavano correntemente per vedere meglio, per cauterizzare le ferite o per accendere il fuoco, come ricordava Plinio. Fenomeno quest'ultimo che spaventava più di ogni altro tanto che bastò a fissare per sempre la definizione di *fuoco* per il punto dove i raggi si concentrano! Magiche furono ancora le lanterne che proiettavano su un muro una tenue immagine, grazie a lastre dipinte ed a lenti convesse. Per non parlare di quelle in sequenza che, fatte girare dinanzi una lucerna, o comparire mediante diaframmi automatici, secondo alcune allusioni di Erone, anticiparono in qualche modo il cinema! Gli antichi definirono *taumaturghi* i loro ideatori, ossia produttori di meraviglie, dando così una prima definizione della *finzione* cinematografica

Purtroppo, la riscoperta di quegli antichi manoscritti e la venerazione quasi religiosa di cui furono oggetto, come accennato, non di rado ne provocarono la definitiva scomparsa, insieme alle nozioni in essi contenute e sopravvissute, sia pure in modo latente, fino ad allora. Il disgraziato evento è facile da ricostruire: quei codici, proprio per il loro intrinseco valore, vennero gelosamente custoditi insieme ai preziosi e ne seguirono la sorte nei ricorrenti saccheggi. Reputati però dalle rozze soldataglie, di nessun valore, finirono nei roghi del bottino invendibile o dispersi accidentalmente. Si spiega forse così l'assurdo avvicendarsi tra il miracoloso riapparire dei trattati ellenistici, tradotti e copiati sul finire del XV secolo, e il loro successivo svanire.

Le incongruenze delle interpretazioni

Un discorso radicalmente diverso, va fatto circa la conservazione dei reperti archeologici, connessi a vario titolo con le suddette dimenticate tecniche e tecnologie. Tale positivo esito, quand'anche nella maggioranza dei casi restituisca solo scarsi e malconci frammenti, può tuttavia considerarsi una sorta di miracolo. Tenendo conto, infatti, della propensione dell'uomo alla distruzione, le concause alle spalle di quella sopravvivenza, sia pure parziale, appaiono persino più variegate di quelle alle spalle della fossilizzazione, che per tanti aspetti le somiglia. Simile, ad esempio, la dissoluzione delle parti più delicate e complesse e la permanenza di quelle più coriacee e inerti, in genere le meno ingegnose

A fianco, dall'alto: *Le mura megalitiche di Norba, Latina. Una lente d'ingrandimento ed un ritratto su vetro rinvenuti a Pompei.*



Un raffronto tra una radiografia ed una ripresa fotografica di un gruppo di ingranaggi del reperto di Antikythera, risultato delle ricerche condotte finora.

ed evolute, soprattutto quando prive di evidente valore economico e non riciclabili. Volendo fare un paragone paleontologico, quanto pervenutoci potrebbe equipararsi al rinvenimento delle ossa più spesse e corte di un enorme scheletro, le meno eloquenti circa le precipue caratteristiche del remoto organismo di appartenenza. Sono appunto di questa tipologia i famosi UFO del passato che, dopo le suddette dispersioni, già deleterie, provocano le ancor più deleterie approssimate identificazioni. Il perché di quest'ultima gamma di errori si spiega agevolmente: molti attuali riconoscimenti risentono dell'apparente somiglianza dei reperti con odierni congegni, per lo più completamente estranei.

La sommaria procedura d'identificazione determina, però, arbitrarie definizioni che, spesso, frustrano i necessari approfondimenti relegando, o per meglio dire, seppellendo con lapidi errate gli strani oggetti nei depositi museali. Ma, fortunatamente, non sempre le cose sono andate così; lo testimonia l'esempio che segue: nel 1902 alcuni pescatori di spugne recuperarono a largo dell'isola di Antikythera, o di Cerigotto, nel mar Egeo, dei corrosi frammenti metallici. Alcune ruote dentate, che si intravedevano fra le concrezioni, li fecero ritenere lì per lì i resti ossidati di una sveglia, persa in mare anni addietro.[27] Dopo mezzo secolo, e per un puro caso, il professor Darek de Solla Prince capì trattarsi di una macchina del II-I secolo a.C., che dopo un ventennio di studi interpretò come un calcolatore astronomico meccanico, senza dubbio il congegno più sofisticato e complesso finora ritrovato.

Riservatezza e tabù

Il settore che più è vittima di difficoltà e vuoti interpretativi è quello inerente alla tecnologia militare e per vari ordini di ragioni. I Romani, come tutti i popoli dell'antichità, nutrirono al riguardo un puntiglioso riserbo, premessa del futuro segreto militare, sia per non condividere la gloria di una vittoria con stupide macchine, sia per non agevolare un eventuale nemico, sia, non ultimo, per non saperle descrivere adeguatamente. Agli scrittori, infatti, difettava la competenza tecnica e ai tecnici la letteraria: quanto ai lettori, difettando di entrambe, neppure se ne accorgevano! Pertanto si può concludere che la: "*tecnologia ha sempre costituito un argomento riservato… Nei regni ellenistici la riservatezza sui procedimenti tecnologici era favorita dal controllo sulle principali produzioni esercitato dai sovrani e, nei casi dell'Egitto e della Mesopotamia, dall'antica tradizione del controllo esercitato dalla casta sacerdotale sulle produzioni riservate ai templi: un sistema lasciato sopravvivere dai Tolomei nei confronti delle industrie indigene, ma affiancato da sistemi diversi di controllo nelle comunità greche. Non è quindi sorprendente che non si sappia quasi nulla, per esempio, sulla tecnica delle fornaci o della tessitura o sui procedimenti usati per la produzione di profumi o di particolari qualità di vetro.*

In questa situazione non possiamo ritenere che tutta la tecnologia ellenistica rilevante sia documentata nelle poche fonti rimasteci."[28]

Va, a questo punto, chiarita quella che può sembrare una palese contraddizione: come si concilierebbe la suddetta riservatezza, quando non vera e propria segretezza, con la redazione e la diffusione, in discreto numero di copie, dei trattati specialistici già più volte ricordati? Se nelle loro righe vengono spiegate con dovizia di particolari e di dettagli le più potenti macchine belliche escogitate, per giunta con una meticolosa attenzione al dimensionamento esatto delle loro componenti, presupposto dell'ottimale funzionamento, come supporre proprio a carico delle stesse un geloso silenzio?

La risposta è ben nota a chiunque si sia cimentato con lo studio o la traduzione di tali remote fonti che,

27 Cfr. W. SANDERMANN, *Il primo ferro cadde dal cielo: le grandi invenzioni degli antichi,* Bologna 1978, pp. 60-64.

28 Da L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata…*, cit., p. 164.

giova ripeterlo, ci sono pervenute per lo più mutile e gravemente frammentate. I rispettivi autori, pur non evitando affatto spiegazioni prolisse, vanamente saccenti e, a volte, persino oziose, omettono invece basilari dettagli. In pratica non forniscono i dati tecnici di parti essenziali, senza i quali l'arma o la macchina bellica non possono in alcun modo funzionare. Vitruvio, ad esempio, nel suo X libro, trattando della costruzione delle baliste e delle catapulte, si perde in pedanti tabelle di conversione, in prolisse proporzioni per il dimensionamento dell'affusto e del sott'affusto, ma nulla prescrive circa il dispositivo di scatto ed il congegno di caricamento, senza dei quali era del tutto inutile avviarne la costruzione. Sappiamo perciò il numero di regoli occorrenti per l'affusto, le loro esatte lunghezze, larghezza e spessore, il tipo d'incastro d'adottare, dettagli non soltanto marginali ma anche irrilevanti e ininfluenti sul funzionamento! Non abbiamo, per contro, la benché minima idea sulla soluzione adottata per mettere in tensione le matasse elastiche, tramite la corda arciera, né come quest'ultima venisse liberata al momento del tiro.

Essendo ridicolo presumere al riguardo una dimenticanza, peraltro stranamente analoga pure in Filone di Bisanzio e in Bitone, bisogna concludere che tali informazioni fossero notificate esclusivamente, e in maniera riservata, ai soli addetti alle fasi avanzate del montaggio, magari oralmente e sotto un rigidissimo vincolo del silenzio. Probabili, in tal caso, due fasi lavorative per siffatte armi, ben distinte e forse anche distanti, di cui la prima relativa all'approntamento delle componenti strutturali e statiche, in sostanza bassa carpenteria, la seconda relativa ai gruppi motopropulsori, i congegni da non divulgare.

Del resto qualcosa del genere si verificherà, e le fonti non mancano d'evidenziarlo, con il cosiddetto *fuoco greco,* terribile miscela incendiaria, impiegata per circa otto secoli dalle navi da guerra bizantine. Del piroforo non se ne conosce, almeno in maniera da poterla verificare, l'esatta composizione: infrangere quel segreto strategico comportava la morte.

Sopra: *Roma, Musei Capitolini, reperto di origine ignota e di epoca romana relativo ad una pompa a cilindro unico e doppio stantuffo.*
Sotto: *Miniatura illustrante il getto di fuoco emesso da un sifone lanciafiamme bizantino.*

Possibile, invece, eludere il divieto, magari per ragioni connesse alla produzione, camuffandone la ricetta, cioè infarcendola di ingredienti stranissimi, superflui e deleteri, in grado di inibire o depotenziare l'esatta reazione. È assurdo, infatti, supporre che quanti avessero dimestichezza con quei micidiali miscugli, potessero seriamente presumere una esaltazione degli effetti mediante l'aggiunta di code di rospo o di sangue di drago, persino dando per buona la loro reperibilità!

Anche questo secondo sistema di segretezza, ovviamente con i debiti adattamenti, sembra aver trovato applicazione nei trattati costruttivi delle antiche macchine da guerra e artiglierie. La sua percezione non appare immediata, ovvero di tipo preventivo, ma di tipo conclusivo. In altre parole si comprende, a cose fatte, quando i risultati deludenti lasciano intuire delle deficienze progettuali. Nel testo, infatti, erano aggiunti elementi meccanici inutili o appena sproporzionati, sebbene apparentemente congrui e corretti. Al momento della verifica funzionale, la macchina non rispondeva alle aspettative fornendo prestazioni scarse e, per giunta, irrimediabili. Ne conseguiva, nel migliore dei casi, un vergognoso discredito del costruttore, sufficiente a farlo desistere dal riprovarci per l'intera esistenza!

Sopra: *Frammento di tegole con marchio legionario di produzione.*
Sotto: *Tubo di piombo con marchio legionario.*

Le protesi tecnologiche

A coinvolgere attivamente l'istituzione militare nel progresso della tecnologia contribuivano, notevolmente, due sue peculiari caratteristiche. La prima potrebbe definirsi di tipo speculativo, essendo i corpi tecnici delle legioni a prendere contatto con tutte le innovazioni nelle quali s'imbattevano durante le campagne di conquista. La seconda di tipo esecutivo, essendo proprio quei corpi a realizzare le infrastrutture delle tante grandi basi, che supportavano l'avanzamento e stabilizzavano le conquiste. La prassi, comunque, è scarsamente ricordata in modo esplicito: in nessun trattato militare, ad esempio, viene descritto il procedimento adottato dalle officine legionarie per produrre tubature di piombo o valvole di bronzo, mattoni o tegole. Né, peraltro, si ricorda in alcuna maniera che fu quello un impegno basilare delle legioni, in ogni angolo dell'Impero. Solo grazie alla presenza dei rispettivi marchi ed emblemi legionari, impressi su ogni singolo manufatto, se ne è acquisita contezza. E con lei il dato più significativo di una cospicua e variegata produzione industriale avanzata d'origine militare, estranea al combattimento o per lo meno solo apparentemente tale, dal momento che essendo la guerra uno sforzo totalizzante condotto ai limiti delle potenzialità, qualsiasi apporto contribuiva al successo.

Occorrevano braccia di forza prodigiosa per scagliare più lontano lance più lunghe e pesanti delle avversarie, gambe agilissime e instancabili per correre più velocemente e più a lungo del nemico, per raggiungerlo o per sfuggirlo. E ancora servivano orecchie in grado di percepire il minimo bisbiglio alla massima distanza, occhi tanto acuti da scorgere al limite dell'orizzonte e voce tanto poderosa da sovrastare il clamore della mischia. In pratica, non potendosi mutare la fisiologia del guerriero, occorrevano adeguate protesi, ciascuna delle quali idonea a superare quelle limitazioni, in maniera progressivamente migliore. Carri, artiglierie, mani di ferro, sistemi di segnalazione, ma pure accampamenti

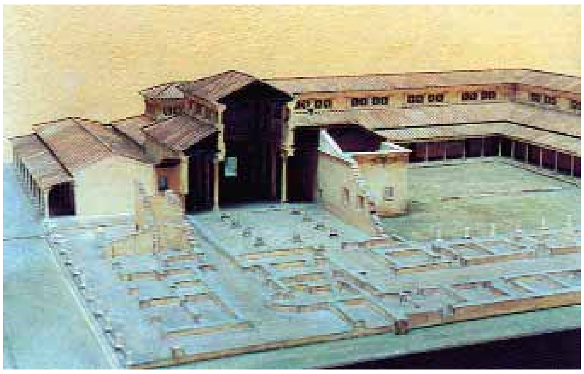
confortevoli, ospedali razionali, porti sicuri ed ancora strade, acquedotti, imbarcazioni e gru costituirono soltanto alcune delle più vistose tappe di tale spasmodico ed incessante sforzo militare, mirante a prevalere sull'avversario.

La rincorsa tecnologica fu così innescata e ai robusti guerrieri si affiancarono i pensosi tecnici che, copiando la natura, carpendone i segreti fisici, osservandone i fenomeni fornivano le suddette protesi, macchine più o meno complesse destinate ad infrangere le limitazioni naturali. Nate in genere per esaltare le potenzialità distruttive, spesso, dopo l'iniziale debutto e le successive migliorie, finirono per esaltare soprattutto le potenzialità produttive. Ideali, in ultima analisi, per attenuare la fatica brutale e le barriere fisiche, per aumentare le risorse: in breve per rendere meno sofferta e precaria l'esistenza. Le protesi nate per la guerra divennero, presto, non solo comodissime ma anche indispensabili per mantenere la pace, per il benessere e per la civiltà. L'ingegneria militare che stava alle loro spalle si ritagliò così un ruolo duplice, ma sempre fondamentale nella vicenda umana. Sarà senza dubbio il suo coinvolgimento che condurrà alla bomba atomica, ma sarà anche il suo coinvolgimento che eliminerà la schiavitù e la fame, almeno laddove ancora vigono, debellando anche le più perniciose malattie.

Per alcuni miliardi di nostri contemporanei più sfortunati, disporre di strutture e di attrezzature medico-sanitarie uguali ai *valetudinari* legionari romani, gli ospedali militari sistematicamente presenti in tutte le grandi basi europee, sarebbe non solo un'immensa risorsa ma, in moltissimi casi, un enorme balzo in avanti ed una sicura salvezza per la maggior parte degli infermi!

Delle innovazioni tecnologiche archetipali che si colgono dietro tante derivazioni odierne di quelle antiche soluzioni, la ricerca che segue fornisce un quadro inedito, pur essendo condotta in un ambito per lo più noto sebbene spesso frainteso e marginalizzato. Volendo a sua volta evitare suggestioni di fuorvianti somiglianze, distruttive per le sintesi storiche, si è avvalsa di verifiche simulate al calcolatore e, non di rado, di ricostruzioni in grandezza naturale. Quest'ultime, tuttavia, non vanno confuse con una dimostrazione di archeologia sperimentale che si limita a verificare la possibilità di una determinata intuizione, senza nulla aggiunge circa l'effettiva esistenza. Si tratta, invece, di simulazioni o ricostruzioni in cui interagiscono le varie componenti ritrovate, verificandone l'effettiva rispondenza funzionale che, proprio quando effettiva, non può considerarsi meramente casuale. Le macchine, i congegni e gli strumenti che compaiono, perciò, sicuramente esistettero e funzionarono a lungo, ragione non ultima della carenza delle loro esplicite tracce.

Sopra: *Bassorilievo del I sec. d.C. con degli strumenti chirurgici.*
Sotto: *Strumenti chirurgici romani del I sec. d.C..*
A fianco, in basso: *Plastico ricostruttivo di un valetudinario romano.*



Un minimo di chiarezza: scoperte ed invenzioni

Acutamente è stato osservato che: "*la storia della conquista della natura da parte dell'uomo è la storia delle sue scoperte e invenzioni più che delle sue azioni politiche. La sua conoscenza della natura e la sua filosofia della vita ne hanno determinata la*

prassi. Progredendo nella conoscenza di quel che oggi chiamiamo scienza applicata, egli rafforzava il suo dominio sulla natura. In nessun campo dell'attività umana possiamo, con maggior proprietà parlare di evoluzione. Nel mondo dello spirito idee e dogmi sono sorti e tramontati, ma la conquista umana della natura è stata ascesa costante."[29]

A voler essere pignoli è proprio nello sfruttamento delle risorse della natura, più che nel suo dominio, utopico traguardo risoltosi spesso in catastrofi, la vera ragione della conflittualità in ogni epoca. Quando le fonti energetiche non erano ancora conosciute, fu l'esigenza di braccia servili a muovere la cupidigia ed in precedenza la fertilità spontanea dei terreni ad incentivare le conquiste. In un caso e nell'altro, aggredire e resistere innescarono l'esigenza di armi e fortificazioni, e i suggerimenti si colsero proprio nella circostante natura, dai denti dei grossi carnivori, al carapace delle testuggini.[30] Il processo, apparentemente scontato e rapido, in realtà fu estremamente complesso e duraturo, poiché persino: "*il più semplice strumento, fatto con un ramo spezzato o una pietra scheggiata, è il frutto di una lunga esperienza, di prove e d'errori, d'impressioni osservate, ricordate e confrontate. L'abilità per farlo è stata acquistata mediante osservazione, ricordo ed esperimento. Può sembrare un'esagerazione, ma è tuttavia vero che ogni strumento è un concretizzarsi di 'scienza'. Perché è un'applicazione pratica di esperienze ricordate, confrontate e raccolte, dello stesso genere di quelle che sono sistemate e riassunte nelle formule, descrizioni e regole scientifiche*."[31]

Si originarono forse così le invenzioni, il cui incessante moltiplicarsi e costante diversificarsi formarono l'archivio culturale della tecnologia, presupposto di base per la sua evoluzione. Pertanto: "*ogni scoperta e invenzione, ogni osservazione ed esperimento aggiungeva qualcosa al complesso del sapere. Un dato o una tecnica possono rimanere inutilizzati per anni e sembrare dimenticati, ma il loro ricordo rimane e fa parte della sempre crescente eredità sociale.*"[32]

Sempre più spesso i già labili confini tra scoperta ed invenzione, tra creazione ed ideazione, tendono nella nostra odierna realtà a confondersi, a dissolversi

Statua della partoriente,
Catal Hoyuk, Turchia, VII millennio.

l'uno nell'altro dando origine a prodotti indistinti ed ibridi. Sappiamo tutti, perfettamente, che scoprire significa, letteralmente, sollevare il velo che cela un qualcosa altrimenti evidente nella sua concreta realtà. Accezione che, in maniera figurata, sembra suggerire la preesistenza dell'oggetto, sia pure in maniera mimetica. Discorso antitetico a quello dell'invenzione, da *invenio,* che, invece, definisce il *trovare con l'ingegno* quindi l'ideare, il generare quasi, il dare alla luce qualcosa fino a quel momento del tutto inesistente, sia in modo esplicito che implicito.

Tuttavia non si può negare che nel verbo *inventare* sussiste anche il senso di *ritrovare*, cioè di riconoscere qualcosa che, magari parzialmente, esiste in diverse realtà separate e distinte. L'invenzione, pertanto, sarebbe una sorta di *identikit*, composto con pezzi reali e concreti, fino ad assumere un'autonoma identità. Ben diverso il caso della creazione che implica il formare dal nulla, sia in senso materiale che spirituale, aspetto quest'ultimo simile alla elaborazione dell'ingegno, almeno secondo il nostro standard. Per gli antichi, invece, tale affinità non esisteva affatto: *ingegno* derivava certamente dal vocabolo *genio*, questo a sua volta da una radice che ancora è evidente in italiano; è la medesima del verbo *generare* o dei vocaboli

29 Da R. J. FORBES, *L'uomo fa …*, cit., p. 15.
30 Cfr. F. RUSSO, *L'artiglieria delle legioni romane*, Roma 2004, pp. 47-50. Ed ancora, dello stesso autore, *Ingegno e paura*, vol. I, Roma 2005, pp. 5-63.
31 Cfr. V. G. CHILDE, *Il progresso…*, cit., p. 5.
32 Da R. J. FORBES, *L'uomo fa …*, cit., p. 15.

origine, *genealogia*, *genitale*, *ginecologia*, ecc., tutti in qualche modo attinenti alla nascita fisica: derivano, infatti, dal sanscrito *gene = partorire*, *mettere al mondo*, *dare alla luce* un essere mai esistito, sino a quel momento![33]

E qui, alla fine, i termini assumono la loro esatta distinzione, poiché se tecnica è arte spinta ai limiti delle capacità manuali e razionali, ingegneria è capacità speculativa, spinta al limite della creazione del nuovo. In entrambi i casi non si tratta di scienza pura ma solo della sua applicazione. In definitiva, è elaborazione di conoscenze empiriche e deduttive, finalizzate o comunque utilizzate per costruire realtà diverse e diversamente utili, ed appunto perciò lontanissime dalla purezza della scienza.

Meccanica e macchine, tecnica e tecnologia

Forse fu questa pregnante diversità che impedì, dapprima agli antichi Greci quindi ai Romani e poi ai loro epigoni, fin quasi ai nostri giorni, di apprezzare in pieno l'apporto dei tecnici superando ideologici spregi. Il preconcetto denigratorio con cui fu riguardata l'ingegneria, infatti, scaturì dall'equiparazione del lavoro manuale, quale che ne fosse la tipologia e la finalità, a una prestazione meramente muscolare, quindi socialmente servile. Disprezzo che ancora si manifesta nella diversa stima che deriva dal camice bianco o dalla tuta blu, indipendentemente dal ruolo di chi l'indossa.

Circa la meccanica, è facile rintracciarne l'etimologia nel termine greco *mèchané = strumento per fare* o *compiere*. Ma pure in questo caso la radice più antica è quella sanscrita *mahate = accrescere, rendere grande*, da cui anche *mag'- man maestà, grandezza, forza*. In altre parole un'entità artificiale e innaturale, capace d'incrementare vistosamente la forza, la produzione, la crescita. Concetto che, per grandi linee, si attaglia perfettamente alle famose protesi, quindi, alle macchine ed alla nostra meccanica in generale. Più dettagliatamente: "*prima che la 'mèchané' intesa come disciplina che spiega le norme che determinano il funzionamento meccanico di certi dispositivi divenga oggetto di studio, con questo termine si indicano prevalentemente astuzie e stratagemmi messi in atto per portare a buon fine un'azione, comprese quelle in cui l'uomo ricorre alla costruzione di qualcosa o al-*

William-Adolphe Bouguereau (1825-1905) Omero e la sua Guida, 1874.

l'uso di oggetti quotidiani per conseguire determinati scopi".[34]

Significativamente per alcuni autori va considerato quale vero: "*manifesto della tecnica costruttiva di questo periodo... l'episodio del grande cavallo di legno che consente ai Greci di porre fine alla guerra di Troia... È in relazione all'operato di questi 'techìtai' che il vocabolo 'mèchané' 'scende sulla terra' e entra nel linguaggio ad indicare l'espediente, l'azione ingegnosa e sorprendente nel suo esito finale. Sono questi i personaggi dotati di quell'astuzia che i Greci definiscono 'métis', la facoltà di escogitare 'mechanaì' con cui volgere a proprio vantaggio situazioni critiche. Tutti i significati positivi e negativi del termine sono già presenti nei testi omerici: per trasportare il cavallo dentro la città vengono applicate delle ruote sotto le zampe e il collo viene cinto da funi per il traino.*

La gigantesca costruzione racchiude in sé tutti i contenuti della meccanica nascente: l'assemblaggio ragionato dei pezzi, la macchina, la μηχανή intesa

33 Cfr. G. CERBO, F. RUSSO, *Parole e pensieri. Raccolta di curiosità linguistico-militari*, Roma 2000, alle voci: *genio*, *ingegnere*.

34 Da G. DI PASQUALE, *Tecnologia e meccanica...*, cit., p. 37, nota 78.

L'Impero romano alla massima espansione.

come l'astuzia che permette ai Greci di entrare... Diversi secoli più tardi, conservando tutti i significati del termine greco, il gigantesco dispositivo sarà definito 'machina' anche dai Latini..."[35] Del resto ancora oggi tale accezione si coglie nel verbo italiano *macchinare* e maggiormente in *macchinazione*, termine dalla valenza dispregiativa, che definisce un inganno, un'astuzia, un tradimento. Parlare, perciò, di tecnologia meccanica non può ridursi al mero ambito che nell'immaginario collettivo pullula di ruote dentate, di pulegge, di catene, di leve, di ferraglie cigolanti, precipuo dei *marchingegni*! Significa, invece, allargare l'indagine alle macchine elaborate dall'ingegno, ovvero ai *congegni* che in un determinato arco storico comparvero, si perfezionarono e si usarono per accrescere la produzione, per aumentare le risorse, per alleviare la fatica. Scopo raggiunto impiegando energie esterne naturali o razionalizzando lo sfruttamento di quelle muscolari, avvalendosi certamente di rotismi dentati e catene cinematiche, ma anche di strumentazioni delicate e precise, di attrezzature sofisticate e complesse e di studi assidui e approfonditi.

Tornando all'ambito della ricerca e tenendo conto della sua limitazione al contesto romano, l'intervallo cronologico preso in esame spazia fra il I secolo a.C. ed il III d.C.. In pratica coincide con la fase espansiva dell'età imperiale, caratterizzata dal lungo periodo di stabilità militare, politica ed economica, successivo alla morte di Augusto. Il perché della scelta dell'intervallo deriva da una serie di concause agevolanti, fra le quali l'abbondanza delle fonti e dei reperti archeologici. Proprio in merito a quest'ultimi è stata determinante e preminente l'immensa mole di oggetti, strutture, raffigurazioni e procedure di cui il Vesuvio in una lontana giornata autunnale del 79 d.C. si appropriò violentemente e in poche ore, restituendoceli diciassette secoli dopo. Una sorta di tragico *fotofinish* di Pompei, Ercolano e Stabia spente all'improvviso nella pienezza della loro vita quotidiana e nella ricchezza delle loro risorse materiali e tecnologiche e non, come in tutti gli altri siti archeologici dopo una lunga miserabile agonia caratterizzata dall'asportazione di qualsiasi oggetto, o sua parte, suscettibile di riuso o di vendita.

Opportunità, quindi, del tutto priva di analogie nel corso della storia e, pertanto, basilare per indagini del genere. Basterebbe da sola a fornire il materiale della ricerca, se non fosse che in quello stesso scorcio storico, alcune migliaia di chilometri più a nord, la realtà dell'Impero implicava sussidi tecnici, poderosi, variegati e squisitamente militari. Un'estrinsecazione anch'essa della tecnologia romana e sempre d'età imperiale, ma ben diversa: a testimoniarla i tanti bassorilievi celebrativi e le tante fortificazioni con i relativi armamenti. Una quantità tale

35 Da G. DI PASQUALE, *Tecnologia e meccanica...*, cit., pp. 37-38.

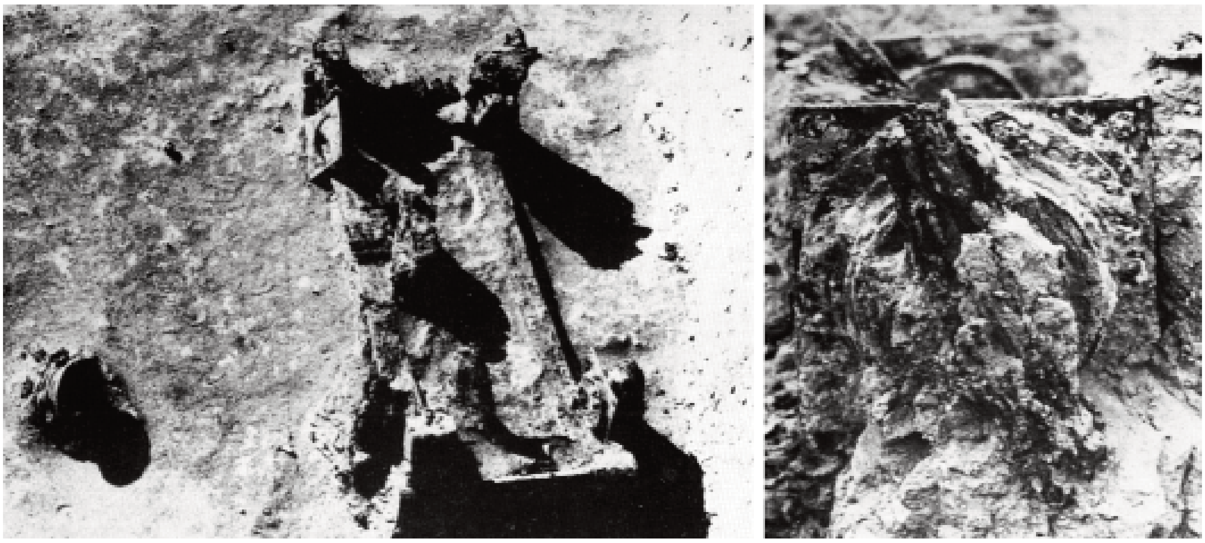
Sopra: *Curve isopache della ricaduta di materiale piroclastico dell'eruzione del 79 d.C., in base ai sedimenti riscontrati. Rielaborazione dei dati gentilmente forniti da G. Di Donna.*
Sotto: *I resti di una balista rinvenuti nei pressi della base romana di Hatra, in Iraq, nel 1971.*

d'indicazioni e di reperti che due millenni di vandaliche devastazioni, di distruzioni e di degrado non sono riusciti a cancellare del tutto. Affiorano così, dai vari angoli degli estesissimi *limites*, armi, oggetti e strumenti più o meno noti, più o meno riconoscibili, più o meno espliciti: molti altri, però, sfuggono completamente alle nostre indagini.

Per i Greci *tèchné* definiva qualsiasi arte, intesa però non come espressione della sensibilità creativa quale noi oggi la intendiamo, ma come semplice capacità professionale o mera abilità di mestiere, accezione analoga a quella di artigiano o tecnico. Anche in questo caso, a voler rimontare più indietro, troviamo che la radice *tak*, in sanscrito *tak-s* aveva il significato generico di *fare, fabbricare, produrre costruire,* voce di cui si trova una estrema traccia nel vocabolo *architetto*, dove *archi,* sta per *arci* = *superiore* o *primo*, e *tetto* per *costruttore* o *tecnico*: alla lettera un più assonante *arcitecnico.* Posta così la questione la nostra tecnologia è la scienza che studia tutte le abilità professionali, tutte le capacità artigiane, tutte le potenzialità di mestiere; in ultima analisi potrebbe definirsi la sommatoria di tutte le capacità alle spalle della produzione ottimale. Patrimonio culturale che a sua volta trae origine dalla prolungata ripetitività e affinamento, precipui del lavoro artigiano. Il tecnico fu perciò l'artefice che producendo sistematicamente un determinato bene, lo rese sempre migliore, più duraturo e progressivamente meno costoso. Che a ben guardare significa riduzione dei tempi di realizzazione e dei quantitativi dei materiali impiegati, cardini della rivoluzione industriale.

Cronologia relativa

Come appena accennato, la velocità di avanzamento dell'evoluzione tecnologica non fu costante, né meno che mai si trattò di un processo monotòno, ravvisandosi alquanti scatti improvvisi, intervallati da lunghi periodi di stasi, se non addirittura di regresso. Anche



Sopra: *Il Caproni CR 42, costruito nel 1938 ed entrato in servizio nel 1939.*
Sotto: *Il Campini Caproni, costruito agli inizi degli anni '40, fu il primo aereo a reazione.*
In basso: *L'Impero conquistato da Alessandro Magno alla sua massima espansione.*

sommarie correlazioni con la cronologia storica evidenziano il ruolo catalizzatore, spesso persino propulsore, giocato dagli eventi bellici in qualunque epoca. Emblematica l'esperienza del secondo conflitto mondiale, quinquennio iniziato con i biplani di vimini e tela e concluso con gli aerei a reazione, scandito dalle fiammate delle bombe e chiuso dal lampo nucleare.

Balzo che conferma quanto delineato, ma che per il passato è molto meno facile da riscontrarsi. La lontananza temporale, infatti, ne ha compresso le fasi salienti, le tappe, dissolvendone i picchi fondamentali, finendo perciò per inglobarle in un costante, regolare e lineare avanzamento, detto genericamente progresso. Fra i massimi apici, il maggiore di cui abbiamo contezza fu senza dubbio quello manifestatosi in conseguenza dell'impresa di Alessandro Magno e, nonostante la sua effimera durata, fu di gran lunga il più gravido di apporti. Un vivido bagliore esauritosi nell'arco di pochi decenni, sul finire del IV secolo a.C., ma il cui riflesso rimase per diversi secoli, non a caso definiti dalla storia età ellenistica.

Il perché del fenomeno va relazionato alla genesi stessa della sua nascita, ovvero all'epica impresa del Macedone e alla sua concezione culturale. Non a caso già nel corso del regno paterno era stato dato un grande spazio allo studio delle discipline scientifiche, le sole reputate capaci di esaltare le potenzialità militari ed economiche. Non a caso era stato scelto come suo pedagogo Aristotele, che finì per infondere nel giovane allievo la sua stessa sete di conoscenza. Il caso o il destino fecero poi il resto.[36]

Il ritrovarsi, in un determinato momento della sua vita, a capo di un immenso impero esteso su tre continenti e fra due oceani, a cavallo tra Occidente ed Oriente, fra le estreme propaggini della cultura cinese, indiana, persiana, egiziana e greca, costituì per Alessandro e per gli scienziati al suo seguito un'occasione irripetibile. Quasi la totalità delle più straordinarie realizzazioni umane, materiali, artistiche e culturali poterono così essere rilevate, apprese ed assimilate da quella sorta di collettore epico. Molte di quelle innovazioni tecnologiche si confermarono, poco dopo, imprescindibili per il controllo e la gestione dell'immenso impero e delle sue complesse articolazioni. Pertanto: "*nei tre secoli che*

36 Cfr. A. M. CHUGG, *The lost tomb of Alexander the Great*, London 2005.

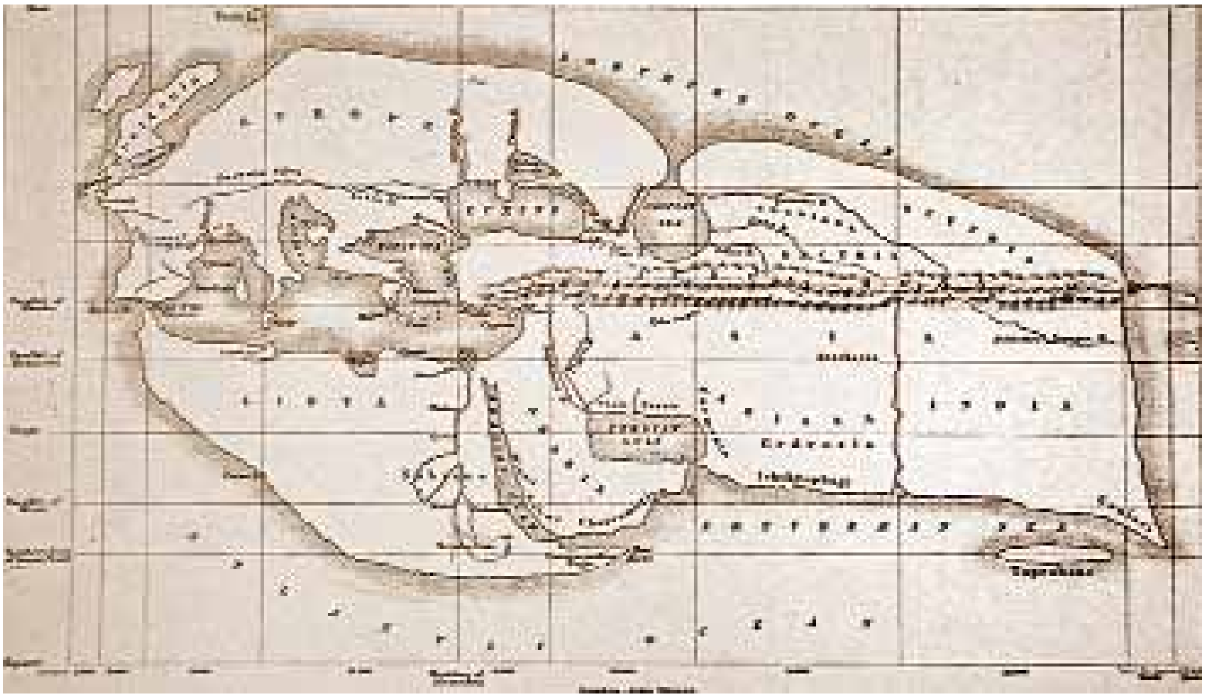
Sopra: *Statua equestre di Alessandro Magno.*
In basso: *Il mondo secondo Eratostene.*

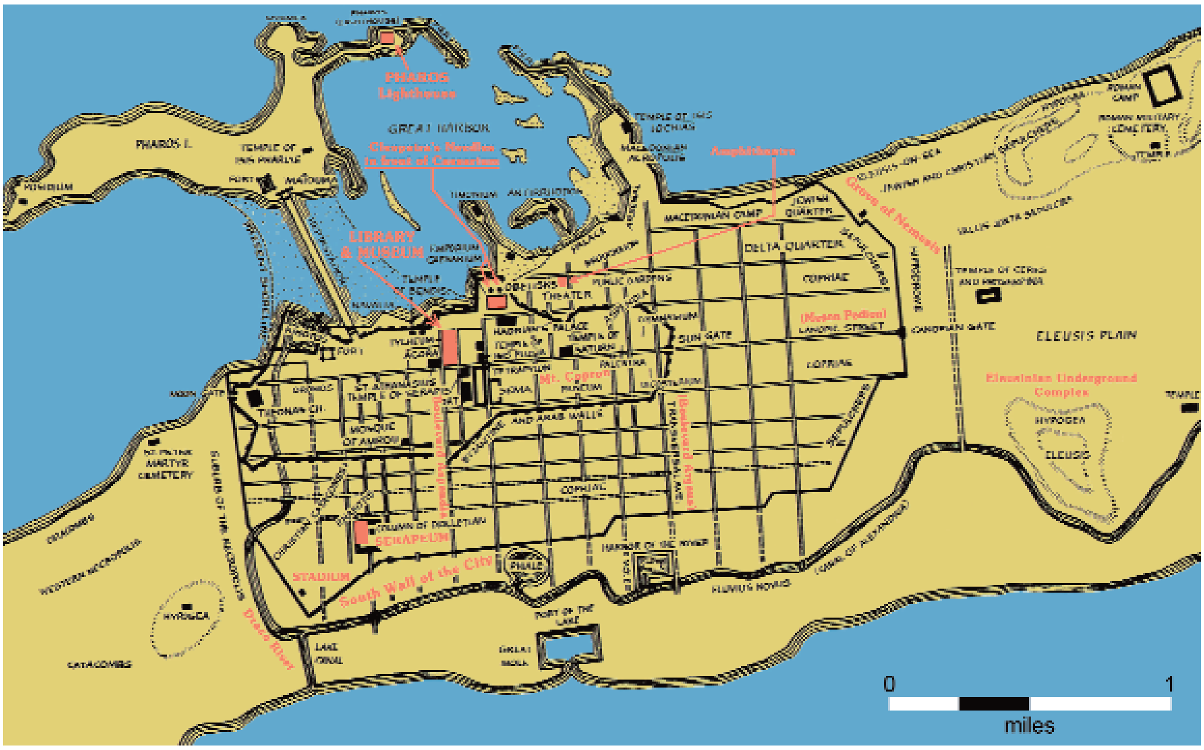
incominciano nel 330 a.C., le frontiere della civiltà furono ulteriormente portate innanzi finché una zona continua di Stati che conoscevano la scrittura si estese dall'Atlantico al Pacifico. La nuova economia, finora realizzata soltanto nel Mediterraneo orientale, giunse a dominare l'Europa atlantica e l'Asia anteriore, e all'ultimo trovò nell'impero romano espressione politica per l'unità che creò. Questo risultato fu raggiunto in due tappe principali.

Nella prima, i greci stessi, sotto la guida di Alessandro di Macedonia, ereditarono l'impero persiano come organismo efficiente, estendendo l'economia della polis fino all'Indo e allo Jaxarte. Nello stesso tempo i Siracusani fondavano un impero greco più piccolo in Occidente (sotto Gerone), mentre i Romani stavano unificando l'Italia secondo linee greche piuttosto che orientali e ampliando la sfera della nuova economia a spese dei Fenici di Cartagine. Nella seconda tappa i Romani, avendo vinto i Greci in Italia e in Sicilia, s'annetterono l'impero cartaginese e lentamente assorbirono l'antica Grecia e i suoi nuovi appannaggi dell'Oriente, e portarono l'Europa barbarica con la forza delle armi nel sistema economico mediterraneo... Le conquiste di Alessandro aprirono l'Asia al commercio greco e alla colonizzazione greca... Attraverso questa nuova provincia un particolare dialetto greco fu compreso ovunque, cosicché le idee potevano circolare - e circolarono - liberamente. L'unità del mezzo di scambio, nuove strade, porti e fari migliorati e navi più grandi facilitarono relazioni e traffici. L'unità politica e monetaria creata da Alessandro non doveva invero sopravvivergli... [non così] *l'unità culturale...*"[37]

Con la morte di Alessandro il tanto proficuo contatto instaurato tra i due continenti e le loro rispettive civiltà, mondi fra loro completamente e reciprocamente ignoti, cessò, Quella sorta di tunnel spazio-temporale si richiuse ed arrestò quasi del tutto ogni scambio tecnologico, sopravvivendogli solo l'esilissimo itinerario della seta. Si spiegano, forse, in tal modo le tante singolari coincidenze tra la civiltà orientale e occidentale, affinità che a volte sembrano tradire un'evidente matrice comune e un leggero sfalsamento cronologico.

37 Da V. G. CHILDE, *Il progresso...*, cit., p. 242.





In alto: *Planimetria dell'antica Alessandria d'Egitto.*
Sopra: *Ricostruzione dell'acropoli di Pergamo.*

Occorreranno oltre quindici secoli perché un nuovo contatto fosse lentamente riattivato!

La preziosa eredità di Alessandro, però, non scomparve altrettanto drasticamente ed irrimediabilmente a cominciare dal suo edificio statuale che si ruppe in una serie di frammenti più o meno grandi, più o meno importanti a seconda delle capacità e della sensibilità dei suoi rispettivi dinasti, ciascuno dei quali mantenne, per quanto possibile, le stesse impostazioni. Tra questi spiccano per rilevanza e cultura i Tolomei, cui toccò l'Egitto e ai quali si devono la mitica biblioteca di Alessandria, il Museo e l'annessa scuola vertice del sapere scientifico dell'antichità. Simile, sebbene di entità complessiva minore, anche la cultura degli Attalidi, che ebbe il suo centro di studio e d'irradiamento in Pergamo e nella sua biblioteca. E se scuola alessandrina è sinonimo di sapere, carta pergamena è sinonimo di codici e di libri!

Un parere parzialmente diverso ipotizza, invece, che: "*i Greci che si trasferirono in Egitto e in Mesopotamia all'epoca delle conquiste di Alessandro vi trovarono un livello tecnologico superiore al proprio. La cosa è del resto del tutto naturale. Trattandosi, sia per la Grecia classica sia per l'Egitto e la Mesopotamia, di civiltà in cui lo sviluppo della tecnologia avveniva essenzialmente per lenta accumulazione, i millenni durante i quali le civiltà egiziana e mesopotamica avevano accumulato conoscenze empiriche trascrivendole e tramandandole le avevano rese insuperabili, a meno di un salto di qualità metodologico.*

Le tradizioni delle civiltà più antiche, con le quali da secoli erano stati in contatto, avevano sempre attirato l'interesse dei Greci. Non a caso l'inizio della matematica ellenica era attribuito a Talete e a Pitagora, di entrambi i quali si diceva che fossero stati in Egitto (e di Pitagora anche in Oriente). Ma ora il contatto divenne molto più stretto. I Greci trasferitisi nei nuovi regni sorti dalla conquista di Alessandro dovettero gestire e controllare economie e tecnologie più sviluppate, alle quali non erano abituati, con la guida dei raffinati metodi di analisi razionale sviluppati negli ultimi secoli della loro tradizione culturale. In questa situazione nacque la scienza."[38]

38 Da L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata…*, cit., p. 47.

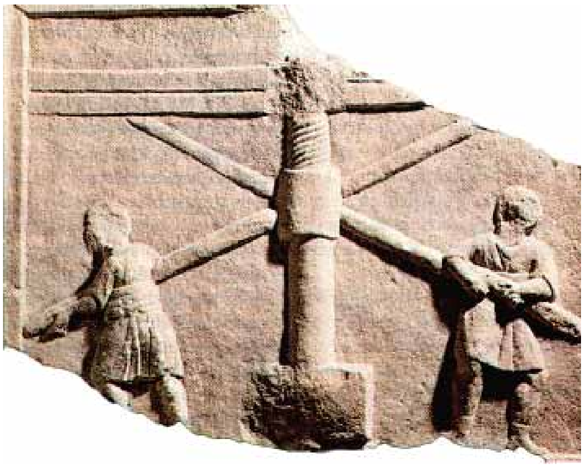
L'ellenismo incentivò il primo vero grande balzo culturale, evento che sembrava promettere un immediato ed inarrestabile salto tecnologico che, in realtà e solo in parte, riuscì a mantenere in numerose realizzazioni comunque geniali. Ma per una concreta attuazione, per il pieno estrinsecarsi delle sue potenzialità occorse l'avvento di un altro immenso impero, minore per territorio ma longevo per durata, quasi che la dimensione politica grandiosa, esito di un altrettanto grandioso apparato militare, fosse la dimensione istituzionale adeguata per un vistoso progresso tecnologico. Non per questo mutò, però, la tradizionale superiorità del guerriero e delle sue peculiarità, in ambiti sociali appena scalfiti da quegli apporti.

La scienza e la tecnica restarono, e non poteva essere diversamente, un mero ausilio dell'artigianato e del tecnico la cui produzione avanzata continuò ad essere la militare. E chiunque se ne occupò, a qualunque titolo, senza essere al contempo lui stesso uomo di guerra, non godette di stima né di apprezzamenti etici. Certamente ben pagato, certamente ricercato, restò però disprezzato perché lavoratore manuale, perché meccanico, perché tecnico, perché prossimo ai compiti degli schiavi, in una società dove solo la guerra costituiva l'occupazione dignitosa del libero, restando 'servili' tutte le altre varie forme di attività.

Disprezzo o superfluità della tecnica?

Per alquanti studiosi della storia della tecnologia, al grande salto che la meccanica applicata effettuò, tra il IV ed il III secolo a.C., fece seguito un rigido blocco che impedì, non solo il prosieguo delle eccezionali premesse, ma persino il definitivo abbandono delle implicite promesse. Al riguardo: "*tutte le soluzioni eccetto qualcuna concordano. A. Aymard poneva la questione in termini semplici:«nel cuore dell'antichità, in una civiltà, quella ellenistica, tutto era approntato per una trasformazione progressiva e tuttavia radicale delle condizioni dell'esistenza quotidiana. Ma questa trasformazione non si è verificata. L'ingegnosità impiegata ad utilizzare le proprietà della materia e a dominare le grandi forze naturali, per combattere il nemico o per divertire curiosi e ingenui, ha praticamente lasciato il posto all'indifferenza, quando questo sfruttamento e questa perizia avrebbero potuto contribuire a diminuire la miseria e la fatica fisica degli uomini... Così non è per ignoranza che l'antichità ha peccato, ma per rifiuto...».*

Così dunque si sarebbe verificato un arresto del pensiero tecnico, quando questo avrebbe avuto a disposizione tutti gli elementi per un'importante evoluzione. Questo blocco potrebbe essere stato dovuto sia a una reazione negativa di fronte al lavoro manuale, di fronte ad alcuni aspetti della vita materiale, sia all'esistenza della schiavitù..."[39]



Bassorilievo con due schiavi adibiti alla manovra di un torchio.

In breve, secondo quanto appena citato, parere che vanta molte adesioni, l'ampia disponibilità di mano d'opera a bassissimo costo, reputata addirittura a *costo zero* da una bizzarra credenza, avrebbe impedito di adottare soluzioni meccaniche alternative, sia già esistenti, sia di specifica invenzione. Ragionamento soltanto apparentemente sensato e, pertanto, non condivisibile in alcun modo, soprattutto per la sua fin troppo banale semplificazione economica. Profitti immensi a costi insignificanti, vale a dire l'ideale per qualsiasi economia: con un minimo di buon senso è facile tuttavia ristabilire la plausibilità del comparto lavorativo e comprendere che la suddetta asserzione è grossolanamente una completa idiozia. Al di là della citata rilevanza numerica degli schiavi, peraltro tutta da verificare se relativa ad uomini giovani e robusti nel pieno della vigoria fisica, non può trascurarsi il dettaglio che in un'economia servile quel tipo di merce aveva un rilevante costo di acquisto e, per intuibili ragioni, un costo non irrilevante di mantenimento![40]

Quando si effettua l'analisi del rapporto costi benefici, occorre tenere conto del fatto che la schiavitù fu

39 Da B. GILLE, *Storia delle...*, cit., p. 195.
40 Cfr. E. CICCOTTI, *Il tramonto della schiavitù nel mondo antico*, Bari 1977, vol. I, pp. 8 e sgg; AA.VV., *La schiavitù nel mondo antico*, a cura di M. I. FINLEY, Bari 1970, pp.131-156; AA.VV, *Schiavitù antica e moderna. Problemi Storia Istituzioni*, a cura di L. Sichirollo, Napoli 1979, pp. 139 e sgg.; ed anche L. FIORE, *La condizione dello schiavo nell'antichità classica*, Teramo 1968, pp. 155 e sgg.; ed ancora E. M. STAERMAN, M. K, TROFIMOVA, *La schiavitù nell'Italia imperiale*, Perugia 1975, pp. 182 e sgg..

Mosaico raffigurante schiava portatrice di acqua.

determinata dall'eccedenza di quanto prodotto dal singolo schiavo rispetto a quanto consumato dallo stesso, esito che in meccanica si definisce *rendimento positivo*. La conclusione, però, quando riferita all'epoca imperiale o quando collocata alla base dell'economia servile romana, o supposta tale, non è più tanto lineare e semplice. Occorre infatti vagliare molti più fattori di quelli innanzi ricordati e della concorrenza del lavoro libero, e più ancora la considerevole variazione di produttività a parità di oneri di mantenimento nel corso della vita media dello schiavo, inserendo anche un coefficiente di ulteriore riduzione per la mortalità fisiologica e provocata. Tentare, perciò, di ricavare parametri di rendimento e di convenienza del lavoro coatto nell'antichità, da quello estorto nei tanti lager, in particolare in quelli nazisti, è assolutamente fuorviante perché del tutto errato. I moderni aguzzini, infatti, avevano come finalità primaria l'eliminazione tramite l'esasperata fatica fisica dei loro schiavi, che peraltro non compravano, e non certo l'utile economico che ne derivava. Questo, se mai, andrebbe reputato un effetto collaterale, un rimborso spese dello sterminio. In quanto tale non può neppure paragonarsi allo sforzo estorto, un tempo, agli animali e tratto oggi dalle macchine, essendo la loro morte o distruzione comunque un grave danno.

Se non aizzato da fanatiche motivazioni ideologiche lo sfruttamento del lavoro servile doveva restare innanzitutto compatibile con la piena sopravvivenza dello schiavo, altrimenti sarebbe comunque costato troppo, per riuscire competitivo con la produzione, sia pure inferiore, che non lo massacrava. Senza contare che, a differenza dei nazisti presso i quali non esisteva un libero mercato interno dove porre in vendita le loro disgraziate vittime, nella società classica ve ne erano molti, per cui gli schiavi oltre ad un teorico valore di mercato avevano, comunque, un concreto mercato di cui tenere conto. Anche quando guerre spietate ne producevano in enorme numero, il loro costo non era affatto irrilevante, né il costo del loro mantenimento diminuiva. Significativamente molti possidenti erano pronti ad accaparrarsi i fuggiaschi, senza eccessivi scrupoli sulla loro provenienza, non di rado persino di condizione libera.[41]

Pure trascurando questa innegabile precisazione, il lavoro servile aveva un costo affatto irrilevante anche per l'epoca, dovendosi pur sempre dar da mangiare agli schiavi, corresponsione appena di poco inferiore alla giornata dei liberi lavoratori. È certamente emblematico al riguardo che alcuni imperatori frenarono la diffusione delle macchine ma mai degli schiavi, per evitare il crollo della domanda di mano d'opera libera. Vespasiano proibì l'istallazione di una potente gru, giustificando il rifiuto con la perdita di lavoro, e quindi di reddito, per le classi umili. Pertanto, lo scarso rendimento del lavoro servile, il costo degli schiavi e del loro mantenimento, quello dei loro sorveglianti ed aguzzini, per tacere del loro deprezzamento, finivano per renderne l'adozione persino più costosa di quella libera! Ben presto, perciò, nelle miniere il lavoro tornò libero: i soli forzati erano dei condannati a morte, variante antica degli ebrei per i nazisti. Del resto, con cinico ragionamento, quando un libero operaio moriva sul lavoro, il proprietario perdeva solo la frazione di giornata residua; se invece fosse stato un suo schiavo il danno era di gran lunga maggiore! Infine, se da un libero si potevano estorcere rendimenti esasperati con il miraggio della paga, nel caso degli schiavi si doveva ricorrere alle punizioni, che non potevano andare oltre un certo limite, rischiando altrimenti di inabilitarli.

41 Cfr. K. R. BRADLEY, *Approvvigionamenti e allevamento di schiavi a Roma*, in AA.VV., *La schiavitù nel…*, cit., pp. 59-93.

Certamente gli oziosi patrizi disdegnavano i tecnici e si disinteressavano delle loro competenze, ma non per questo rinunciavano al precipuo apporto, atteggiamento simile a quello di tanti odierni possidenti che disprezzano il denaro, ma vivono agiatamente di rendita! Spesso poi furono proprio quei patrizi a scrivere maggiormente, come sono gli odierni possidenti a comparire più frequentemente nelle cronache mondane, dando perciò la sgradevole sensazione di una loro preminenza sociale e di una ampia condivisione di quelle loro fisime. In entrambi i casi si tratta, però, di esigue minoranze, prive di seguito e consenso, in società freneticamente interessate ad incrementare l'entità della produzione e dei relativi utili, perfezionando costantemente i mezzi e gli utensili. Neppure va escluso che l'ostentato disprezzo verso le realizzazioni tecniche fosse, in realtà, un atteggiamento intellettuale per apparire originali, o un modo per evitare di doversi cimentare con la loro comprensione.

Se la pubblicistica scientifica e più ancora quella di argomento tecnico, quale che ne fosse il livello, ebbero un'ampia produzione e diffusione nella società romana non fu per semplice curiosità o per sterile ammirazione. Meno che mai quando, prima ancora, a farsene promotori furono gli stessi sovrani, il cui coinvolgimento scaturì sempre da concrete motivazioni. In altre parole, dietro tutte quelle iniziative culturali si devono necessariamente intravedere dei vantaggi, sia in ambito economico che in quello militare.

Non meno assurdo del precedente criterio, che vedeva nella schiavitù la causa della mancata meccanizzazione, attribuire invece proprio alla mancata meccanizzazione il perdurare della schiavitù. Ritenere lo schiavo una fonte energetica primaria, un docile motore privo di alternative meccaniche, trova una palese smentita nella constatazione che furono le società schiaviste quelle che di più stimolarono la produzione delle macchine! È innegabile che vi fu maggior progresso tecnico in Egitto dove gli schiavi abbondavano, che non in Israele dove erano rari. Come pure se ne registrò a Roma in maniera superiore nel periodo antecedente alle frequenti emancipazioni, per non parlare degli affrancamenti in massa nel corso delle invasioni barbariche, in un ambito di risaputo regresso. Ma forse l'esempio più probante, perché meglio conosciuto, è quello degli Stati Uniti d'America[42], dove la tratta dei neri fa da sfondo al grande progresso tecnologico. Errato, quindi, rapportare la meccanizzazione mancata alla schiavitù, come più in generale diminuirne la portata e la potenzialità.

La meccanizzazione mancata

Assodato che da una promettente premessa sembra essere derivato soltanto un modesto sviluppo, appare sensato almeno cercare di stabilire le concrete potenzialità della tecnica che gli antichi Greci prima e i Romani poi forse non vollero, o forse non seppero, ulteriormente sviluppare. Che cosa rifiutarono realmente? Che cosa, in effetti, li bloccò? Stranamente, anche al riguardo, esistono opposte conclusioni, ciascuna delle quali non priva di fondamento. Un esempio illuminante è esposto a sostegno della prima, per cui la famosa: "*eolipila di Erone di Alessandria non poteva condurre logicamente alla macchina a vapore. Questa è nata dalla conoscenza scientifica del vuoto, della condensazione, della pressione atmosferica, tutte nozioni di cui i greci non potevano disporre. E forse questo è anche esempio di una cattiva interpretazione dei testi…*

La mancanza di una dinamica nel sistema scientifico dei Greci, del resto, ostacolò considerevolmente lo sviluppo della meccanica tecnica…"[43] In definitiva, la tecnica greca non avrebbe avuto: "*ancora i caratteri che definiscono ai nostri occhi l'intelligenza tecnica, e che sono le basi del suo dinamismo. La tecnica mal si lega alla scienza. Ignora il pensiero sperimentale. Per non avere elaborato le nozioni di legge naturale, di meccanismo fisico e di artificio tecnico, essa non dispone del quadro concettuale che potrebbe assicurare il progresso.*"[44]

A sostegno della tesi opposta, invece, sempre in merito alla eolipila si osserva che: "*le macchine a vapore moderne non sono affatto indipendenti, come si è portati spesso a credere, dalle macchine ellenistiche, ma ne discendono attraverso un filo continuo. Le descrizioni di Erone furono intensamente studiate, fra gli altri, da Leonardo da Vinci; la possibilità di sfruttare il vapore come forma di energia motrice fu poi riconsiderata da G. B. Della Porta nei 'Pneumaticorum libri tres' (1601), basati sulla 'Pneumatica' di Erone. La prima macchina a vapore effettivamente costruita in epoca moderna sembra sia stata descritta nel 1615 da Salomon de Caus e serviva ad azionare una fontana ornamentale a intermittenza: la dipendenza da Erone era evidentemente così forte da indicare anche l'uso di tali*

42 Cfr. C. ROBERTAZZI AMODIO, *La tratta dei negri e la schiavitù moderna. Aspetti della storiografia contemporanea,* in AA.VV., *Schiavitù antica e moderna…*, cit., pp. 251-281.

43 Da B. GILLE, *Storia delle…*, cit., p. 201.

44 Citazione tratta da B. GILLE, *Storia delle…*, cit., p. 202.

macchine."[45] Dal che la seconda conclusione:"*si legge in genere che gli scienziati greci avevano sviluppato la statica ma non la dinamica. Essi conoscevano cioè le condizioni di equilibrio, ma non le leggi del moto dei corpi. Queste affermazioni lasciano l'impressione che gli antichi scienziati, grazie alla loro natura 'contemplativa', si dilettassero a osservare corpi in equilibrio, guardandosi bene dallo smuoverli…* [la realtà] *mal si concilia con questa impressione.*"[46]

Pertanto stando alla suddetta ipotesi, che per molti aspetti appare più convincente, non sarebbe esistito alcun blocco tecnico ma semplicemente il ridimensionamento della ricerca, o per meglio dire della sua divulgazione, dopo la conquista dei Romani. Ne seguì la sostanziale permanenza della tecnologia di base, ormai entrata nella fruizione corrente e un meno risaputo sviluppo di quella avanzata. Infatti, quello che stupisce di più, ma non sappiamo con che attendibilità, è appunto la constatazione che i livelli scientifici noti ai Romani in età augustea sembrerebbero gli stessi dell'ultimo scorcio dell'Impero, se non superiori. In pratica un mezzo millennio di sostanziale stasi, tranne alcuni perfezionamenti delle artiglierie, peraltro sempre da ascriversi ai soliti ingegneri greci. Dando per buona l'osservazione, le ragioni possono essere state molte e concomitanti. Sicuramente vi fu l'atteggiamento di disprezzo verso il lavoro manuale e verso la tecnica, come del resto per ovvia simmetria verso l'inane conoscenza dei dotti di professione. Ma ciò deve attribuirsi, piuttosto, alla mancata interdipendenza fra le due fasi, teorica e pratica, intuizione ed esperienza, che finì per condannare entrambe alla sterilità. La tecnica da sola non ebbe la capacità di superare gli ultimi ostacoli che si frapponevano all'innesco di una piena meccanizzazione, e la scienza non trovò interessante aiutarla a superarli e forse non ne ebbe nemmeno la capacità.

Il blocco a questo punto diventa il classico collasso sul filo del traguardo, mito peraltro tanto caro ai Greci. I loro allievi e successori, ottimi sotto tutti i punti di vista per serietà ed applicazione ma estremamente mediocri per capacità speculative autonome, non poterono superare il diaframma. Si limitarono, si fa per dire, solo a migliorare quanto appreso e quanto compreso, accentuandone al massimo tutte le potenzialità. Il dover amministrare e governare un impero di dimensioni inusitate agì da stimolo ma non accrebbe di molto la conoscenza complessiva, se non per successivi apporti dalle popolazioni conquistate. Pertanto si è discusso: "*di blocco delle tecniche greche. Se si riprendono tutti i testi che si sono così spesso citati, li si potrebbero applicare all'epoca romana che non ha conosciuto né innovazione notevole né macchinismo sviluppato e ciò anche in epoche in cui le ragioni invocate a spiegazione, schiavitù o disprezzo del lavoro manuale, non esistevano più o almeno avevano molta meno forza. Questo, anche malgrado il miglioramento di determinate condizioni materiali (ricchezze naturali infinitamente più abbondanti).*

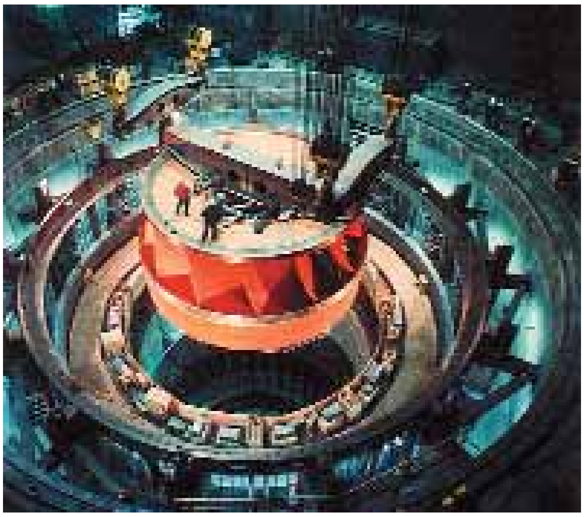
Occorre quindi invocare altre cause, di più difficile individuazione. Ce n'è una che viene subito alla mente: in nessun modo i Romani hanno fatto fare progressi alla scienza, perlomeno alle scienze da cui poteva dipendere il progresso tecnico. Nonostante l'estensione geografica della loro civiltà, né la loro fisica, né la loro conoscenza dei materiali andavano oltre ciò che i Greci potevano sapere. La ricerca in questo campo è singolarmente ristretta e si sarebbe quasi in diritto di affermare che c'è un vero blocco, proprio come la civiltà tecnica cinese che si è bloccata, anch'essa, a partire da un dato momento. La percezione di questo arresto (il termine, infatti, conviene meglio di quello di blocco) sarà sempre altrettanto difficile da spiegare di una certa ripresa verso la metà del XII secolo…"[47]

Ma quanto in realtà è plausibile questa conclusione? Di recente è stata ritrovata a *Hierapolis* la stele funebre, del III secolo d.C., di un certo M. Aurelio Ammiano, forse un tecnico che si occupava di macchine idrauliche. Sulla stele, infatti, è scolpita una sega per tagliare lastre di marmo, a due telai contrapposti, azionata da una ruota idraulica a funzionamento continuo, definito attualmente ad h24. La trasformazione del moto rotativo in alternativo è dato da una seconda ruota solidale alla turbina e munita di due perni eccentrici fungenti da manovelle, nei quali stavano impegnate le due bielle applicate ai telai. Per banalizzare è la stessa trasmissione che troverà applicazione sulle locomotive a vapore: nulla però se ne incontra nelle fonti scritte né in quelle iconiche, confermandoci che le precedenti conclusioni sono per lo meno premature.

In realtà quello che si arrestò o che venne meno, o anzi per l'esattezza mai iniziò, presso i Romani, fu lo stretto rapporto tra la scienza teorica e la sua applicazione pratica. Quest'ultima, che innegabilmente conobbe un discreto sviluppo per l'intera durata del-

45 Da L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata…*, cit., p. 47
46 Da L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata…*, cit., p. 44.
47 Da B. GILLE, *Storia delle…*, cit., p. 233.

Sopra: *Una turbina Pelton.*
Sotto: *Una turbina Francis.*



l'età imperiale su premesse del secolo precedente, procedeva in maniera autonoma, empirica e senza indagini teoriche. Anche i Romani disprezzarono il lavoro manuale, disprezzo come accennato non di rado di maniera, ma la vera differenza rispetto ai Greci è nel mancato raccordo tra scienza e tecnica. Situazione che trova un corrispettivo ancora una volta negli Stati Uniti del XIX secolo, dove la maggioranza degli inventori, non di rado di enorme successo sia pratico che economico, raramente aveva conoscenze pari a quelle del semplice ingegnere. La teoria era stimata quasi superflua contando, in definitiva, la pratica e la sperimentazione.

Esempio emblematico di tale *forma mentis* fu la turbina costruita da Pelton, concettualmente identica a quella già utilizzata dai Romani, ma appena più grande e più solida. In antitesi, la turbina progettata, vagliata ed infine costruita da Francis, munita d'un gran numero di pale oblique, sulla girante e sulla chiocciola, esito di complessi ed accurati calcoli matematici. Entrambe le turbine, significativamente, continuano ad essere usate, in quanto ciascuna delle due ostenta un suo preciso ambito applicativo, situazione che non consente un drastico raffronto, ma solo una modesta riflessione fra i due *modi operandi*.

Il motore

Nella quasi totalità delle pubblicazioni e delle ricerche sulla storia della tecnica o sui livelli tecnici vigenti nell'antichità, è ribadita l'inesistenza del motore. Il concetto, peraltro impropriamente formulato, risulta però errato pure nella giusta definizione, che comunque implica e sottintende una più calzante definizione di motore. Secondo la meccanica greca *motore* era, infatti, l'organo destinato ad imprimere il moto ad oggetti e congegni, altrimenti statici e immobili. Il criterio, che soltanto in prima approssimazione coincide con l'attuale, potrebbe riformularsi per noi in *macchina motrice*, ovvero la macchina che fornisce un lavoro meccanico. In pratica la macchina capace di eseguire determinate sequenze meccaniche, traendo l'energia cinetica necessaria da altre fonti, in teoria in quantità equivalente, in pratica in quantità maggiore, per sopperire alle inevitabili perdite. Dal momento che nell'antichità dette perdite, non solo non erano rilevabili con precisione ma neppure erano un serio inconveniente, il rapporto fra energia introdotta ed energia resa, cioè il rendimento della macchina, non ebbe il benché minimo interesse. Risultava del tutto trascurabile nel più articolato rapporto costo-beneficio, fornito dalla macchina stessa.

Dal punto di vista filologico il termine *motore* definisce un organo, un dispositivo o un congegno anche rudimentale, capace di sviluppare un movimento, di produrre cioè uno spostamento, una variazione cinetica. In pratica, tutto ciò che fa muovere qualcosa con una sequenza logica prestabilita, sia pure per un breve istante, è equiparabile ad un motore, almeno nel senso classico della definizione. Nella storia della tecnologia si suole distinguerlo in *motore primario*, quando viene alimentato da flussi energetici disponibili in natura, come l'acqua corrente, il vento o la forza di gravità. Sono, invece, *motori secondari* quelli azionati da fonti energetiche diverse, nessuna delle quali però disponibile direttamente in natura, come ad esempio l'energia accumulata in una molla, la dilatazione di un solido per effetto del riscaldamento, ecc..

Dall'alto: *due tipi di trappole a scatto; la cerbottana, ancora in uso presso alcune popolazioni primitive; il cannello ferruminatorio.*

Dal punto di vista tecnologico i motori secondari sono di gran lunga i più interessanti, in quanto trasportabili e utilizzabili discrezionalmente, indipendentemente dal fluire dell'acqua o dal soffiare del vento. Dal punto di vista cronologico, e nell'accezione suddetta, la comparsa del motore secondario si conferma remotissima, paradossalmente persino antecedente al neolitico e, soprattutto, al motore primario, trovandosi ampiamente impiegato nelle trappole. In realtà, in quei rozzi quanto ingegnosi meccanismi si ravvisa, piuttosto, un dispositivo ibrido di motore passivo-attivo, accumulatore in fase di deformazione e motore in fase di recupero formale. Il che implicava l'adozione di due sole tipologie di energie potenziali, quali quelle connesse con l'elasticità e la gravità, facilmente reperibili in natura. Ad attivarne il moto, per la cattura o l'uccisione della preda, era un dispositivo automatico azionato dalla stessa vittima.[48]

Le due tipologie di trappole sono, in definitiva, le capostipiti dell'intera gamma di tutte le successive macchine dell'antichità dotate di un motore a molla o a contrappeso, alcune delle quali continuano ancora a fornire la loro prestazione. Sempre nella preistoria si colloca pure un'altra tipologia di motore, sebbene d'impiego estremamente saltuario e non esclusivamente mediterraneo. Si tratta di quello azionato dall'espansione di un gas: al di là del termine molto supponente è concettualmente il più antico, poiché anche lo sputare un nocciolo di ciliegia o un acino d'uva costituisce una forma di moto prodotta dall'espansione di gas! Quel semplice gesto, infatti, per paradossale che possa sembrare, utilizza il medesimo principio del cannone e del motore a combustione interna, non a caso definite entrambe macchine a scoppio, cioè appunto ad espansione di gas.

Una sua applicazione è ravvisabile nella cerbottana, arma che dal punto di vista concettuale è praticamente identica ad un'odierna arma da fuoco. Nell'età classica, per quanto fino ad oggi ne sappiamo, la cerbottana non risulta impiegata o, per lo meno, di tale impiego non se ne ritrova esplicita menzione o raffigurazione. È, però, interessante osservare che qualcosa di simile doveva essere impiegato come mantice per attizzare il fuoco, definito in seguito *cannello ferruminatorio*, ben noto agli orafi egizi.

Tornando al motore, appare evidente che la sua interpretazione archeologica contrasta con quella

48 Cfr. G. TODARO, *Bracconaggio e trappolaggio*, Bologna 2006, pp. 85-162.

odierna corrente, che così definisce, e quasi esclusivamente, congegni capaci di produrre un moto rotatorio. Unica e significativa eccezione il motore a reazione o a razzo, non a caso tecnicamente detto propulsore o anche organo di spinta. Per contro, molti dei dispositivi a funzionamento differito nel tempo, affini alle trappole ma per altri scopi, quali ad esempio aperture e chiusure di porte, sollevamento di carichi ad un preciso momento, il lancio di un proietto dopo una accurata punteria, meccanismi detti all'epoca *automati*, e da noi automatici, inventati dai Greci prima e dai Romani poi, supponevano l'adozione di un motore: ma quasi mai, tra le sue caratteristiche, se ne ravvisa la rotazione anche quando azionato dall'elasticità di torsione. Se per chiudere una serratura era necessario far ruotare la chiave, non per questo la mano può considerarsi un motore: se mai lo è l'intero corpo umano che, pur non girando, è stato il principale motore dell'antichità, fin quasi all'inizio del '900. Va poi osservato che un gran numero di congegni fatti funzionare direttamente dalla forza umana disponevano di piccoli motori secondari, alimentati sempre dalla stessa energia muscolare.

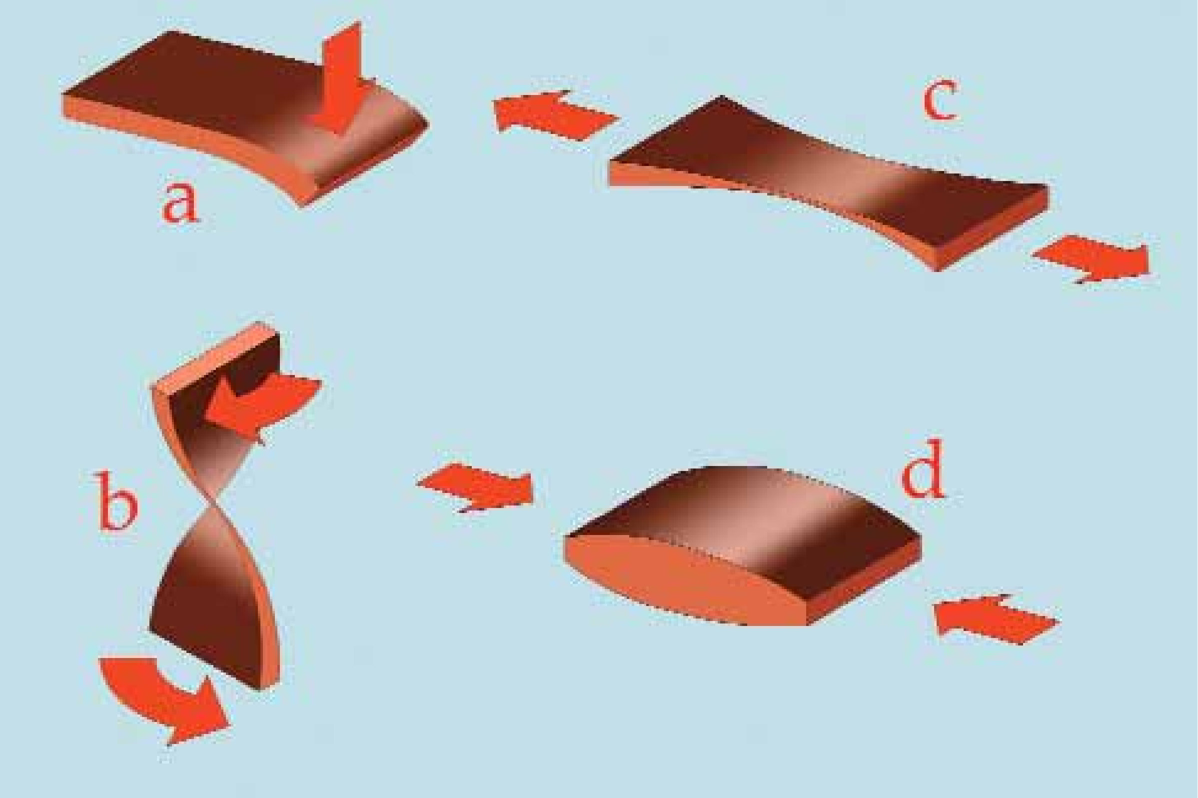
Per restare alla serratura, pur avvenendo la rotazione tramite il motore umano, una parte di questa energia viene accumulata in una molla che, al cessare della forza, diviene a sua volta il motore meccanico che riporta il catenaccio al punto di partenza. Per noi si tratta di una banale molla di rinvio, ma è un perfetto esempio di motore secondario, per l'esattezza di un accumulatore-motore, alimentato dal motore primario. Tanti congegni dell'antichità ebbero in abbondanza motori secondari siffatti come del resto, *mutatis mutandis*, li hanno gli attuali. In una nostra autovettura, ad esempio, oltre al motore termico, il motore per antonomasia, vi sono decine di motori elettrici di tutte le dimensioni e potenze, da quello d'avviamento a quello dei tergicristalli, delle ventole, dei retrovisori, ecc.. Tutti vengono alimentati con l'energia elettrica, generata sottraendo al motore termico una piccola frazione di energia meccanica, accumulandola in una batteria, per poterla poi impiegare anche a motore spento. Far funzionare per un giorno un orologio o una balista per un istante, implica l'adozione di dispositivi capaci di essere alimentati dalle sorgenti energetiche primarie, cioè quelle disponibili in natura, trasformandone le varie potenzialità in lavoro, immediato o differito. Questo fu il motore meccanico nella accezione più aderente e stringente dell'antichità, includendo, per ovvie ragioni, la forza muscolare. Posta così la questione, non è difficile trovare i riscontri e le conferme esplicite e implicite, nella letteratura e nell'iconografia, a patto di aderire alla logica degli antichi in materia.

Elasticità e armi da lancio

Un particolare settore d'indagine in materia di motori secondari, assolutamente prioritario ma sostanzialmente misconosciuto, è quello delle artiglierie elastiche di epoca classica, ovvero delle macchine da lancio, che per funzionare disponevano di un sistema motore reversibile. Si tratta dei più sofisticati congegni dell'antichità, rimasti insuperati fino all'avvento della macchina a vapore: il coinvolgimento dei massimi cervelli coevi nella loro progettazione e costruzione, da Pitagora ad Archita, da Archimede ad Erone, dimostra oltre alla rilevanza del settore la qualità dell'apporto. Non stupisce quindi che in queste complesse macchine, prescindendo dalla loro funzione, siano racchiusi tutti i più avanzati saperi scientifici alla base dell'intera evoluzione tecnologica. Per fugare qualsiasi dubbio al riguardo basta osservare che, dopo la parentesi di relativa oscurità medievale, allorquando la ricerca si rimise in moto, avviando il Rinascimento, si ripartì proprio dal loro studio. Necessario, pertanto, estrapolarle dalla trattazione sistematica che segue nella ricerca, fornendone subito un sia pur sintetico ragguaglio, esatto indicatore di riferimento indispensabile per cogliere più puntualmente i traguardi tecnologici raggiunti.

Il motore a deformazione elastica, più noto come *a molla*, fu il motore secondario per antonomasia dell'antichità, restando tale fino all'invenzione della macchina a vapore. Il suo criterio informatore si basa sulla deformazione di un corpo, per lo più solido e meno frequentemente gassoso, e sulla sua maggiore o minore capacità di recupero della forma originale. Come accennato, lo sfruttamento di tale proprietà si perde nella notte dei tempi: la trappola più arcaica implica infatti una molla, per lo più un fusto piegato, capace di tornare di scatto nella sua naturale configurazione al liberarsi del vincolo. Nessuno, in quel primordiale contesto comprese le ragioni del fenomeno, ma tutti ne divennero subito esperti. Realizzarono pure, altrettanto rapidamente, che dopo alcuni cicli la maggior parte delle piante non recuperava più la forma originale: poche conservavano a lungo tale proprietà; molte, invece, spezzandosi dimostrarono di non possederla affatto.

Con la consueta astrazione della fisica, è definito elastico il primo comportamento ed anelastico o



Le quattro deformazioni elastiche: A - flessione; B - torsione; C - trazione; D - compressione.

plastico, il secondo. In realtà tutti i corpi tendono progressivamente a perdere la loro elasticità, per cui la qualifica riguarda, piuttosto, la sua persistenza, peculiarità fondamentale per armi funzionanti con cicli di deformazione e restituzione. Un arco per le frecce ne è un esempio: flettendosi diviene un accumulatore che immagazzina l'energia spesa per deformarlo; raddrizzandosi diviene un motore che la restituisce, sotto forma di lavoro.[49] Senza entrare nei perché di tale comportamento, è fondamentale ribadire che le proprietà elastiche naturali furono abbastanza rapidamente comprese, tanto da essere impiegate forse già 40-30.000 anni or sono. Ne derivò, oltre alle più sofisticate trappole ed ai più potenti archi, una vasta gamma di applicazioni. L'esperienza così acquisita valse a far individuare ulteriori manifestazioni elastiche, forse persino più vantaggiose per i sistemi motori reversibili, che richiesero tuttavia numerosi millenni per essere impiegate concretamente!

La deformazione elastica di un solido, infatti, si manifesta in quattro distinte modalità, esito di altrettante sollecitazioni. La prima è la già ricordata flessione, tipica d'oggetti a prevalente lunghezza, come per fare un esempio l'asse del trampolino per tuffi. La seconda è la compressione, che si verifica quando un corpo si trova tra due forze contrapposte che tendono a schiacciarlo: tipico, sempre per esemplificare, il caso dell'imbottitura della poltrona su cui sediamo. La terza è la trazione, che si origina quando un corpo è teso da due forze uguali e contrapposte: ne sono un comunissimo esempio le bretelle. La quarta è la torsione che scaturisce dalla rotazione contrapposta di entrambe le estremità di un corpo: ben nota, per esempio, la strizzatura dei panni bagnati.[50]

Stando a tanti geroglifici, tutte le quattro modalità appena accennate trovarono, già nel secondo millennio a.C., utilizzo corrente in utensili ed armi. Plausibile, pertanto, che dal V-IV secolo a.C. la vasta esperienza maturata in quell'ambito, fosse messa a profitto nella costruzione di più potenti armi da lancio. Benché tutte le deformazioni elastiche si fossero dimostrate potenzialmente idonee a tale impiego, soltanto la flessione e la torsione poterono immediatamente utilizzarsi, sperimentandosi in un secondo momento dei gruppi motori a compressione e a trazione, da quali derivarono dei significativi prototipi, miranti a ottenere prestazioni

49 Cfr. F. RUSSO, *Tormenta. Venti secoli di artiglieria meccanica*, Roma 2002, pp. 111-137.

50 Cfr. F. RUSSO e F. RUSSO, *Tormenta navalia, le artiglierie navali romane*, supplem. Rivista Marittima n°6, giugno 2007, pp. 15-18.

meno effimere, dei quali fondamentali restano il *gastrafete* manesco e il *gastrafete* su affusto a tripode, curiosa definizione che ne ricorda la primitiva modalità di caricamento ottenuta spingendo la coda dell'arma con la parete dello stomaco.

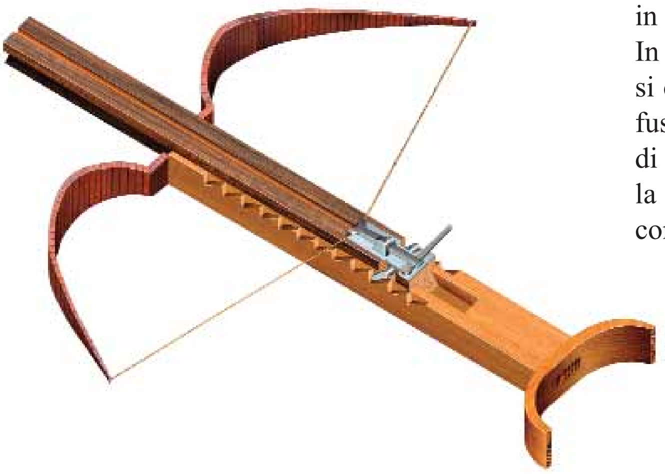
Del resto, già il passaggio dalle artiglierie elastiche, azionate mediante la flessione di lamine a più strati di varie componenti sempre di origine organica, a quelle a torsione di matasse nervine, di diversa configurazione ma con identico criterio, e più tardi a quelle a flessione di lamine metalliche, oltre a testimoniare la crescente esigenza di potenza e persistenza delle prestazioni, scandisce il continuo perfezionarsi delle artiglierie elastiche. La rilevanza che tali armi, i congegni più ponderati dell'antichità, ebbero nell'evoluzione tecnologica e nelle scienze, giustificano un'ulteriore digressione sulle loro precipue connotazioni dedotte dai rari reperti archeologici, dalle ancor più rare raffigurazioni alla luce della frammentaria trattatistica coeva.

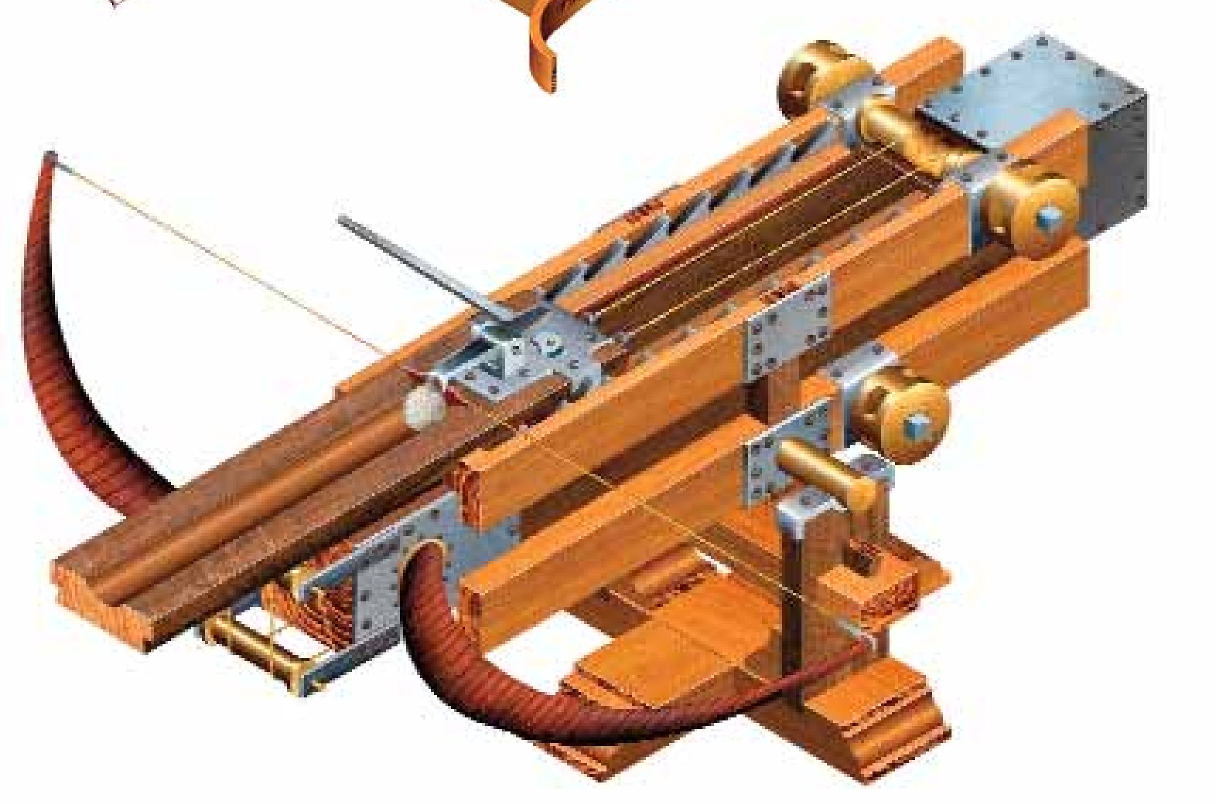
Artiglieria elastica a torsione

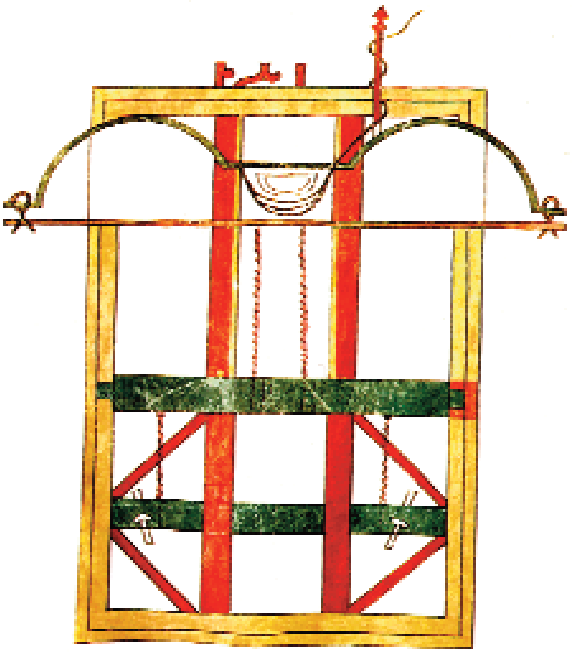
Il motore elastico a torsione, comparso nelle catapulte e nelle baliste intorno alla metà del IV secolo a.C. fu suggerito forse dal torchio a torsione, da millenni usato in Egitto per la spremitura delle essenze vegetali, o dalla molto più recente sega a telaio con tenditore a fune e listello.

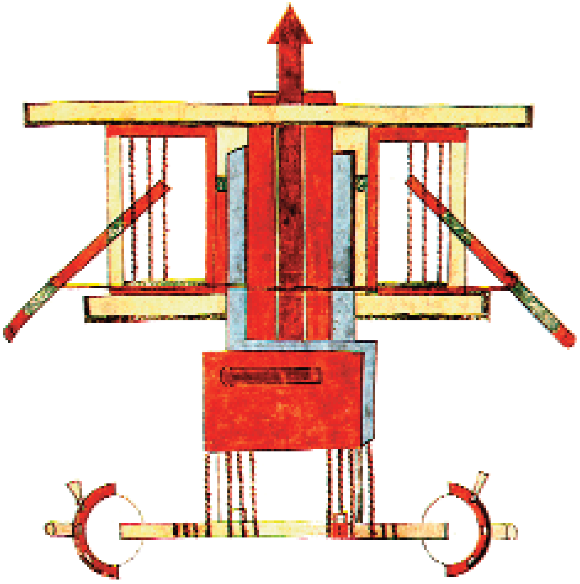
Difficile ormai assodarlo: di certo proprio a quel periodo rimontano le prime artiglierie a torsione che, in pochi decenni, soppiantarono quelle a flessione, in sostanza dei grandi archi con teniere e basamento. In linea di massima una catapulta d'età repubblicana si componeva di tre parti: il motore, il fusto e l'affusto, entrambi quest'ultimi solo di legno e perciò di improbabile conservazione. Il motore, che ne fu la parte di gran lunga più elaborata ed articolata, constava d'un robusto telaio sempre ligneo: grazie,

Sotto: *Ricostruzione virtuale di un* gastrafete *manesco.*
In basso: *Ricostruzione virtuale del grande* gastrafete *di Isidoro d'Abido, la più grande artiglieria a flessione.*

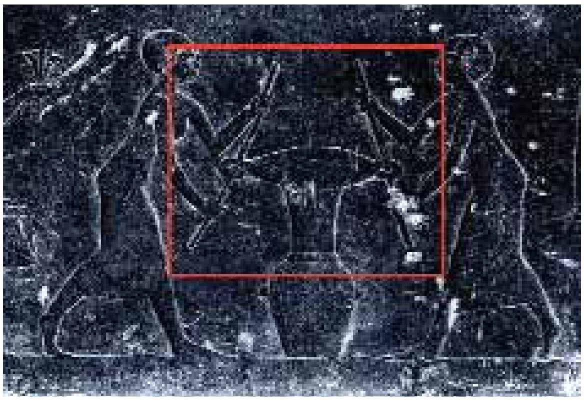








Sopra: *Miniature di artiglieria a flessione ed a torsione in un codice bizantino del X secolo.*
A fianco, dall'alto: *Torchio a torsione egiziano; sega a telaio da falegname.*

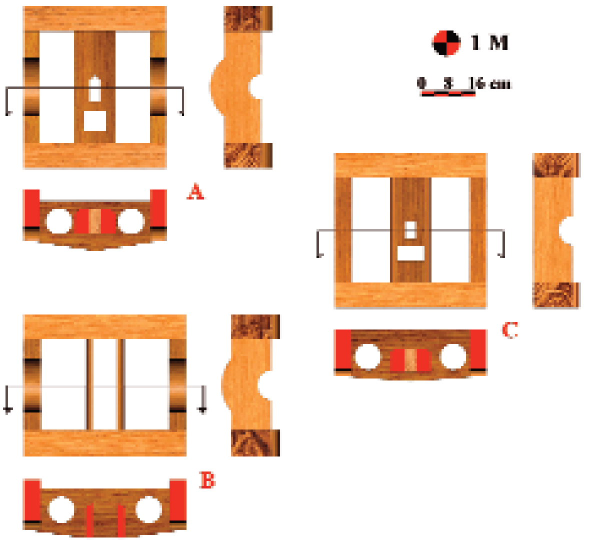


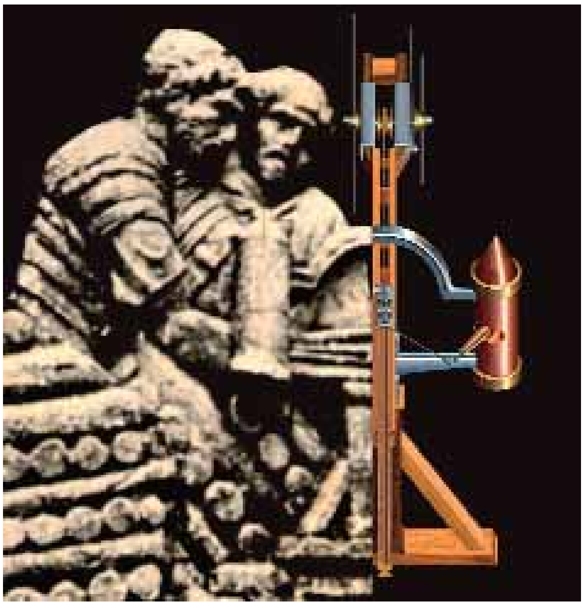
però, alle blindature di ferro o di bronzo che lo rivestivano completamente, in almeno quattro casi ci ha tramandato degli straordinari reperti, grazie ai quali si è potuta ricostruire con assoluta attendibilità l'intera arma d'appartenenza.

Il telaio era diviso in tre scomparti, dei quali il centrale, più stretto, riservato alla giunzione col fusto ed al passaggio della slitta e del dardo. Gli scomparti laterali, invece, ospitavano le due matasse elastiche ancorate sopra e sotto il telaio in due coppie di flangie di bronzo, impiegate per la loro torsione preliminare. Vitruvio ricorda che: "*tutti i rapporti di proporzione degli organi di queste armi sono calcolati in base alla lunghezza del dardo che devono scagliare, alla cui nona parte viene fatto corrispondere il diametro del foro nel telaio del gruppo motopropulsore attraverso il quale passano le matasse ritorte che sopportano i bracci.*"[51] Ed appunto a quel diametro fu fatto corrispondere il modulo dell'intera arma, come al diametro delle colonne il modulo dell'intero tempio. Lo si stabilì preliminarmente pari ad 1/9 la lunghezza del dardo.[52] Così Vitruvio descrive e dimensiona la struttura del motore:[A1]

Parimenti la stessa grandezza del motore, la lunghezza e la larghezza, devono essere multiple di questo modulo. Le assi superiore ed inferiore del suo telaio, definite peritreti dovranno avere uno spessore pari ad un modulo, una larghezza pari ad un modulo e tre quarti [al centro] *ed a un modulo e mezzo alle estremità. I montanti destro e sinistro, al netto dei tenoni, saranno alti quattro moduli e spessi cinque ottavi di modulo; i tenoni saranno di mezzo modulo. L'interasse fra il montante ed il foro sarà di un quarto di modulo, ugualmente di un quarto di modulo l'interasse fra l'apertura ed il montante cen-*

51 VITRUVIO, *De Architectura*, lib. X, 10.
52 Il dimensionamento è esposto da Erone e da Filone di Bisanzio. Per ulteriori ragguagli cfr. F. RUSSO, *L'artiglieria delle legioni romane*, Roma 2004, pp. 30-37.
A1 Testo originale Allegato 1, in Allegati.

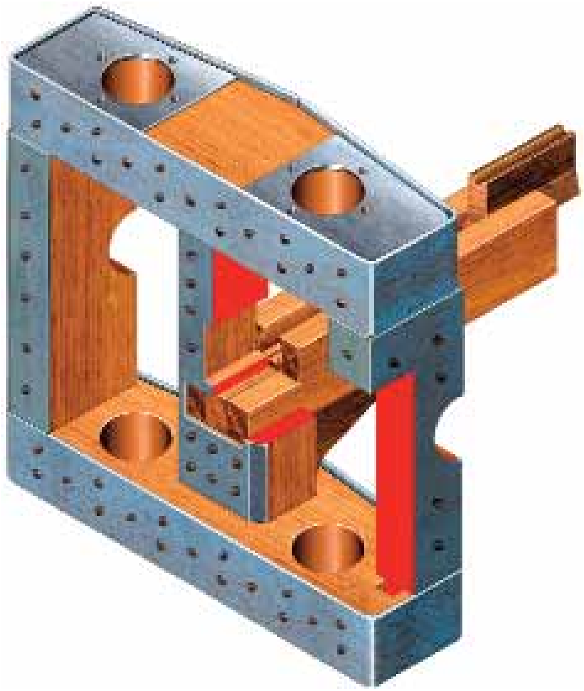


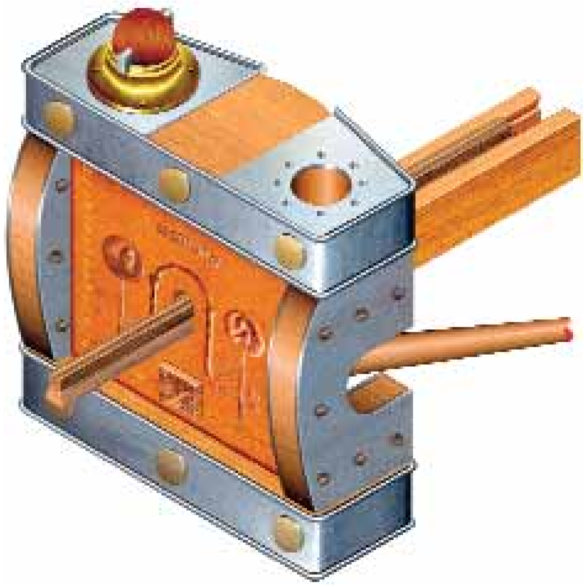


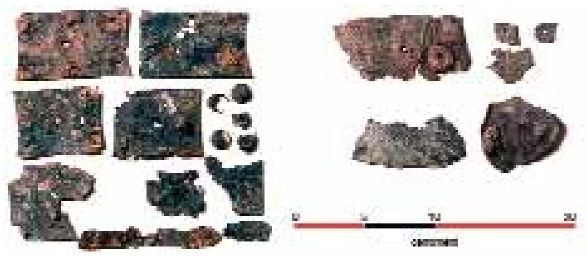
Sopra: *Le varie configurazioni del telaio secondo Vitruvio: A-* ana-tona*, con la larghezza maggiore dell'altezza; B-* catatona*, con l'altezza maggiore della larghezza; C- larghezza uguale all'altezza.*
Sotto: *Flangie di bronzo, dette* modioli*, che ancoravano e torcevano le matasse.*
A fianco, in alto: *Fotocomposizione, su bassorilievo dalla Colonna Traiana, di catapulta con cilindri stagni.*
A fianco, in basso: *Ricostruzione virtuale del* capitulum *di una catapulta, così come descritto da Vitruvio.*

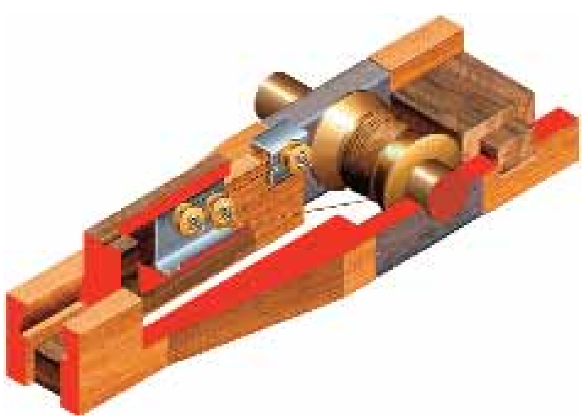
trale. La larghezza del montante centrale sarà di un modulo e tre quarti, con uno spessore di un modulo. L'altezza della bucatura del montante centrale sarà pari ad un modulo ed altrettanto la larghezza. Vitruvio, *De Architectura*, lib. X.

Vitruvio non fa alcuna menzione della larghezza dei montanti ritenendola identica a quella dell'estremità delle assi con le quali si incastravano. Neppure precisa la lunghezza di quest'ultime, ricavabile facilmente, pari a 6 moduli: poiché anche la loro altezza era esattamente di 6 moduli, il motore di Vitruvio ostenta un prospetto frontale quadrato. Le matasse, che ne costituivano l'elemento elastico, a differenza delle gomene tradizionali non erano corde di fibre vegetali ritorte ma di tendini bovini, crini di cavallo o capelli femminili filati. L'impiego di formazioni cheratinose va attribuito alla loro superiore resistenza, ideale per motori elastici funzionanti con reiterati cicli di torsioni esasperate e rilasci istantanei. Essendo la potenza cinetica dell'arma funzione del loro diametro, questo ne divenne il modulo dimensionale, così come lo è il calibro nelle odierne artiglierie. Unica, e non irrilevante, deficienza dei motori a torsione la natura fortemente igroscopica delle matasse, che ne provocava una drastica perdita di potenza a contatto con l'acqua o in ambiente umido. Una pioggia, o appena una esposizione prolungata alla rugiada notturna, ne decurtavano drasticamente le potenzialità, per cui quando si vollero usare le artiglierie a torsione nei climi nordici o in ambito navale, fu necessario proteggerne accuratamente i motori, con appositi contenitori stagni.



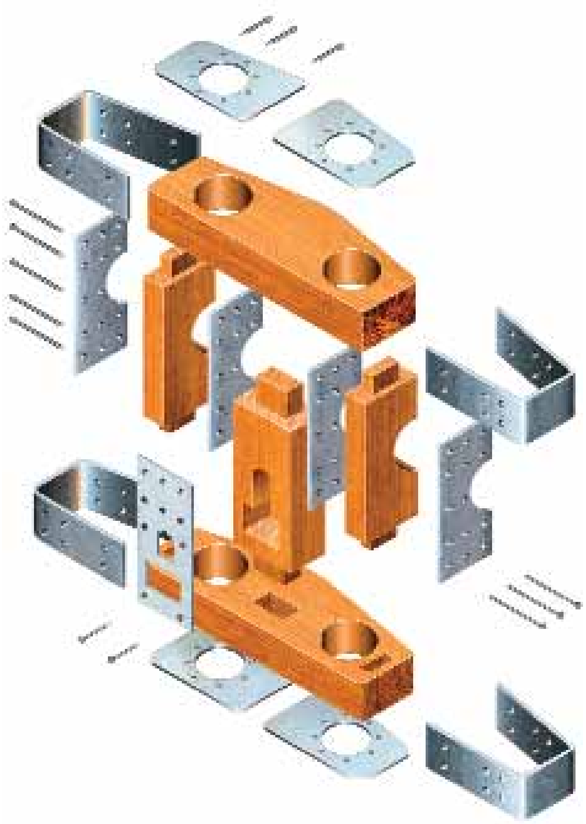


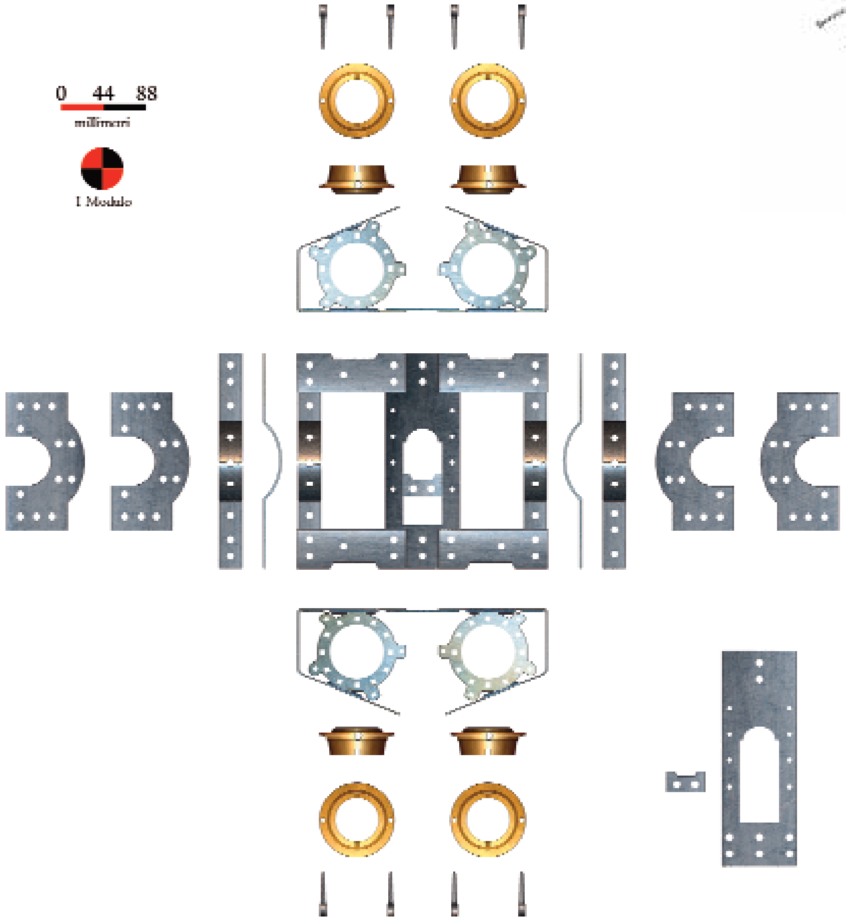




Sopra: *Il reperto di Xanten.*
A fianco, dall'alto: *La piastra frontale di catapulta rinvenuta a Cremona ed appartenente ad un'arma della IV Legio Macedonica; la ricostruzione virtuale del capitulum dell'arma; altri reperti appartenenti alla stessa catapulta e relativi al verricello di caricamento; la ricostruzione virtuale del verricello.*

Tra i primi reperti considerevoli di catapulte romane, dette in gergo *scorpioni*, spiccano i due ritrovati in Spagna, identificati come motori di epoca repubblicana, e quelli di Cremona e di Xanten, in Germania, quest'ultimo quello meglio conservato, dell'inizio dell'età imperiale. In tutti i casi, quanto riaffiorato da un remoto passato erano le sole piastre di ferro che rivestivano il *capitulum* di una catapulta di media potenza: volendo fare un paragone moderno, si era ritrovato quasi tutto il motore di un autoveicolo, ma non certo l'autoveicolo. Ad ogni buon conto per la prima volta si potè verificare in che modo le matasse elastiche fossero supportate, e ritorte, mediante le due robuste flangie di bronzo, dette *modioli*. Lo stato di ottima conservazione delle piastre di blindatura permise di verificare in modo puntuale le dimensioni dei motori e la loro rispondenza ai rapporti canonici delle fonti, premessa per la ricostruzione della catapulta. Il ragionamento seguito per ricavare i pezzi mancanti è abbastanza semplice: se i motori rinvenuti corrispondono ai canoni ed alle proporzioni dimensionali di Vitruvio e di Bitone, anche le restanti parti vi avrebbero aderito. Disponendo perciò del modulo, è sufficiente





In alto: *Il reperto di Ampurias, Spagna, e la ricostruzione virtuale delle sue componenti esplose.*
A fianco e sopra: *Il reperto di Caminreal, Spagna, e la scomposizione grafica, in pianta e prospetto, delle sue componenti.*

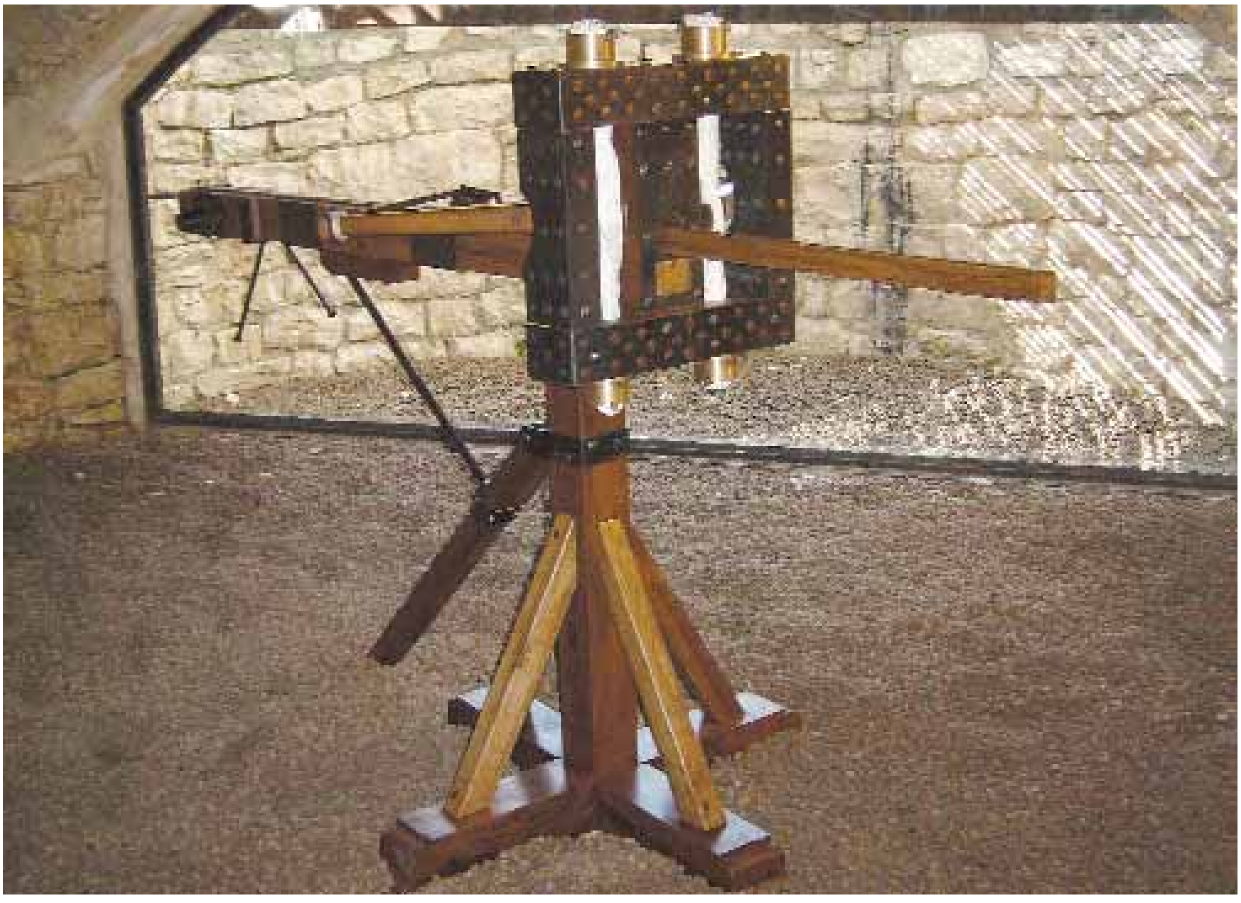
applicare i noti rapporti per poterle tracciare con assoluta attendibilità.

Del telaio, i montanti erano l'elemento strutturale più sollecitato: su di essi, infatti, si neutralizzavano gli enormi sforzi di trazione provocati dalla torsione

Sopra: *Ricostruzione virtuale della catapulta di Ampurias.*
Sotto: *Altilia, CB, ricostruzione reale e funzionante della stessa.*

di una matassa di quasi 80 mm di diametro. Per formarsi un'idea, sia pure approssimata della loro entità è interessante ricordare che il limite di snervamento di una singola matassa del genere corrispondeva a quello di una corda con sezione pari alla sua metà, circa 25 cmq. Ora ammontando a circa 10 kg/mm il limite di snervamento di una fune di canapa, peraltro sensibilmente inferiore ad una di pari diametro fabbricata con fibre cheratinose, capelli o tendini che fossero, si raggiungono le 25 t, che divengono 50 per l'intero gruppo, e molto di più nella realtà! Era questo il carico che quelle costruzioni dovevano sopportare, sollecitazione impartita con un continuo alternarsi ravvicinato di trazioni e rilasci. I montanti, col passar del tempo avrebbero potuto perciò sfiancarsi, deformandosi al centro, per cui serrandoli tra due guance di spessa lamiera, abbondantemente chiodata, se ne scongiurava anche il solo insorgere. Le stesse piastre, poi, cooperavano con le altre a blindare il motore, impedendone sia la rottura che l'incendio da parte del nemico.

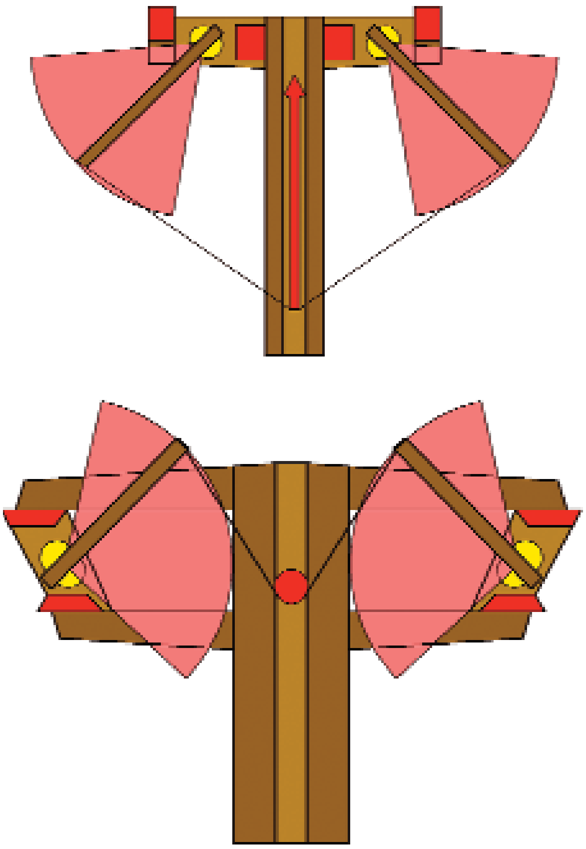
Il vistoso incavo circolare presente su tutti i montanti delle catapulte come pure delle baliste, costituiva la principale connotazione identificativa di tutti i similari anche quando ridotti a semplici bandelle di ferro, ed



era scaturito dalla necessità di compensare l'elasticità della corda arciera. Nella violen- ta corsa di rientro, infatti, per il suo inevitabile allungamento, non poteva arrestare i bracci alla posizione di riposo, per conseguenza, senza quell'ac- corto espediente, questi avrebbero urtato violentemente contro lo spigolo esterno del montante, danneggiandolo e danneggiandosi. L'incavo, tuttavia, risolvendo quel problema, ne creava però un altro, poiché riducendo la sezione del montante lo indeboliva eccessivamente, obbligando perciò ad un rigonfiamento in corrispondenza.

Artiglieria eutitona e palintona

Stando ad Erone, nelle artiglierie: "*di grande potenza si presenta un rallentamento, perché nella misura in cui la forza motrice è più debole in relazione al peso da muovere, nella stessa misura dobbiamo aumentare il tempo*..."[53] In altre parole, se ne poteva incrementare lo sforzo richiesto dal lancio di un grosso proietto, non solo incrementando il diametro delle matasse ma anche prolungando la trasmissione dell'impulso. Sulla base di ciò Erone: "*presenta una classificazione, molto artificiosa... delle macchine da lancio: a) le macchine eutitone: lanciavano solo frecce. Alcuni le chiamano scorpioni; b) le macchine palintone invece potevano servire a lanciare sia frecce che pietre: in quest'ultimo caso sono chiamate litoboli*..."[54] Ovvio concludere che le normali artiglierie *eutitone* non disponevano della potenza necessaria per scagliare efficacemente dei sassi, e che non sarebbe bastato costruirle semplicemente più grandi per dargliela. Dal momento che le macchine a cui si riferiva Erone funzionavano sempre mediante la torsione di una coppia di matasse, la diversità alla quale pare alludere poteva solo riguardarne il motore, in particolare la sua geometria di funzionamento, ovvero il movimento dei suoi bracci dal quale dipendeva sia l'accumulo che la cessione energetica. Riuscire ad immagazzinare più energia potenziale, costituiva l'unica premessa per fornirne di più, al momento del lancio! Se il criterio informatore dell'artiglieria a torsione fu sempre il medesimo, non significa affatto che lo fosse pure il modo di sfruttarlo, potendosi farlo facendo ruotare i bracci di dritto o di rovescio! Per cui dato che sia le *eutitone* che le *pa-*



Schema grafico: *in alto angolo di rotazione dei bracci di una catapulta* eutitona*, in basso di una balista* palintona.

lintone funzionavano con gli stessi organi propulsori, ed assodato che la diversità non derivava dalle loro dimensioni, la vera ed unica diversificazione plausibile meccanica e strutturale, energetica e balistica, deve supporsi appunto nell'inversione della rotazione dei bracci, e quindi nell'angolo di caricamento e di lancio. In breve, i bracci delle *eutitone* giravano in senso opposto a quello delle *palintone*. Per cui a riposo, mentre nelle prime, con le matasse quasi aderenti al fusto, i bracci divaricati assumevano insieme alla corda una configurazione a Δ col vertice verso il bersaglio, nelle seconde, con le matasse distanti dal fusto, i bracci paralleli assumevano con la corda una configurazione ad M, con la concavità verso il bersaglio. Esaurito il caricamento, se nelle prime dopo una rotazione dei bracci di circa 55° la configurazione diveniva a rombo, nelle seconde dopo una rotazione di circa 160° diveniva a V. Gli esiti balistici conseguenti sono di agevole supposizione: la maggiore potenza disponibile era in grado di lanciare dardi con velocità iniziale vistosamente superiore, foriera di gittate quasi doppie, o di scagliare palle di peso notevolmente superiore ad immutata gittata.

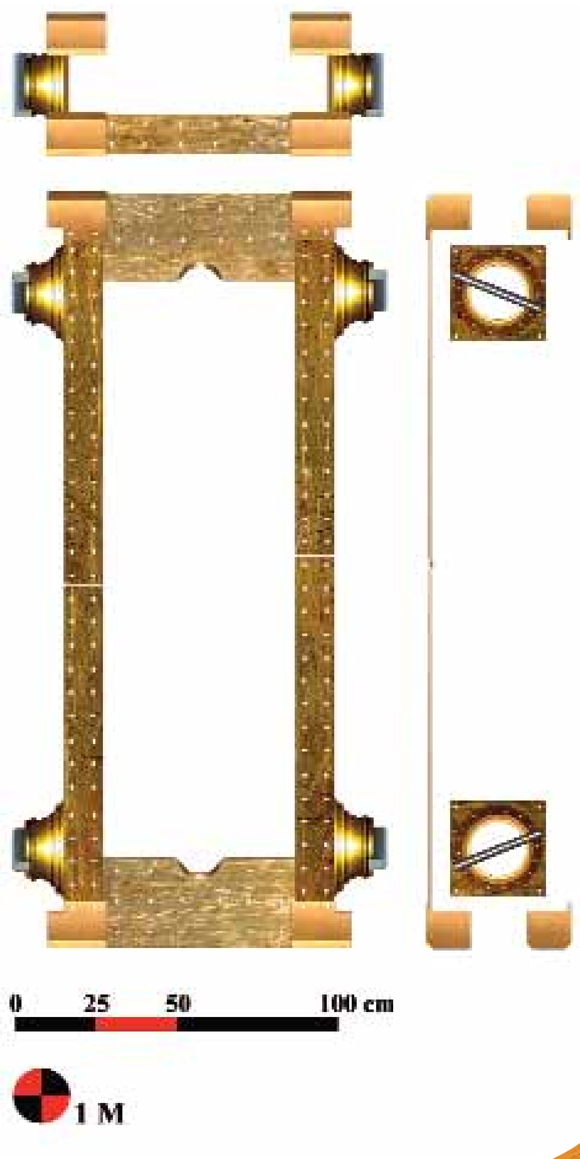
53 Da M. CLAGETT, *La scienza della meccanica nel Medioevo*, Varese 1972, p. 67.
54 Da B. GILLE, *Storia delle*..., cit., p. 193.

Sopra: *Impatti balistici di tiri di baliste sulle mura di Pompei.*
A fianco: *Palle di balista rinvenute a Pompei.*

La delineata conclusione circa la diversità fra artiglierie *eutitone* e *palintone* trova precisi riscontri archeologici, accresciutisi negli ultimi decenni grazie al ritrovamento di ulteriori reperti. Ad Hatra, *Al Hadr*, ad esempio, che Ammiano Marcellino descrivendo la campagna contro la Persia ricorda già abbandonata dai Romani nel 363[55] e ormai allo stato di rudere, proprio al di sotto di una sua torre sono state recuperate delle cospicue piastre e tre pesanti anelli di bronzo, subito identificati per le blindature ed i modioli della più grande balista mai rinvenuta.

La posizione dei reperti suggeriva l'originaria collocazione dell'arma sulla copertura di una torre da cui, per ovvia conseguenza, venne scaraventata giù immediatamente prima della conquista. Bruciato o marcito il legno, si conservò, secondo la prassi, soltanto il bronzo, celato dalla sabbia trasportata dal vento dopo l'impatto. Della restante parte vuoi perché subito bruciata, vuoi perché rapidamente smembrata dai pastori, vuoi, infine, perché non ancora trovata, quasi nulla sopravvisse, ad eccezione di pochi piccoli pezzi di metallo di improba identificazione. Tuttavia anche in questo caso le piastre di blindatura, in ottimo stato di conservazione, hanno permesso di stabilire con precisione la dimensione ragguardevole del motore ed, in seguito, di comprenderne l'esatta configurazione. La sua lunghezza, infatti, ammontava a ben 240 cm per un'altezza di 84 ed una larghezza di 45, al netto delle protezioni angolari e dei modioli: ben oltre otto volte gli scorpioni ricordati! Il telaio propriamente detto constava di quattro travi principali e diverse altre minori, incastrate ed inchiodate fra loro. In particolare, gli otto spigoli esterni tramandano un elaborato assemblaggio, protetto ed irrigidito da apposite cuffie ango-

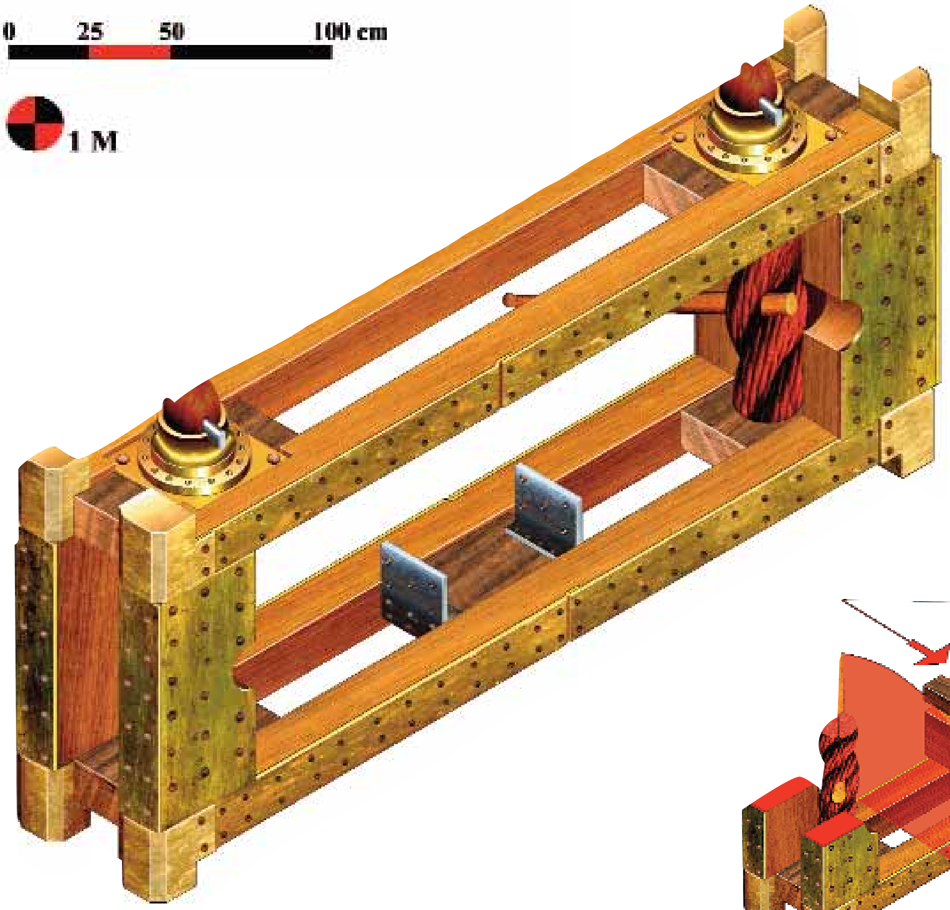
55 Cfr. AMMIANO MARCELLINO, *Storie*, lib. XXV, 8, 5.

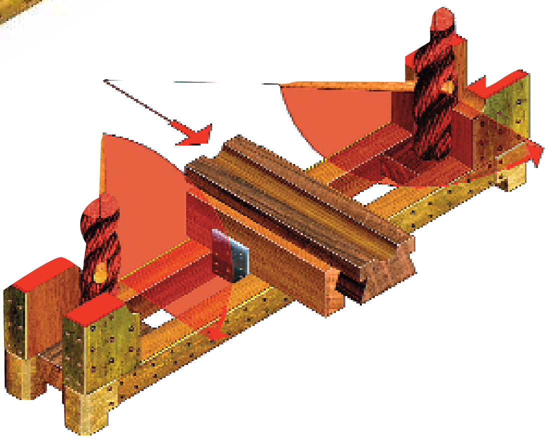


lari sempre di bronzo saldamente fissate con perni, anch' essi di bronzo. La blindatura frontale e laterale risulta pressoché totale, conseguita tramite la chiodatura di lamiere di bronzo spesse mediamente un paio di millimetri. Nelle piastre anteriori si distinguono nitidamente due incavi centrali semi-circolari, i tradizionali alloggiamenti per il rientro dei bracci. Segno in questo caso inconfondibile di un'arma palintona.

All'interno del telaio, in corrispondenza del centro di una sua faccia maggiore sono state rinvenute delle massicce bandelle di ferro. Rappresentano gli estremi resti dei rinforzi del giuntaggio tra il gruppo motopropulsore ed il fusto della balista. All'esterno, invece, quasi in adiacenza degli spigoli, fra le due coppie di travi complanari stavano incastrate delle robuste piastre quadrate di bronzo. Ottenute per fusione, hanno il lato che oscilla fra i 29 ed i 30.5 cm, e raggiungono uno spessore di oltre mm 6: quattro buchi nei pressi degli angoli ne permettevano il fissaggio al telaio con i soliti perni di bronzo. Ad un attento esame le due coppie di piastre presentano tutte un leggero

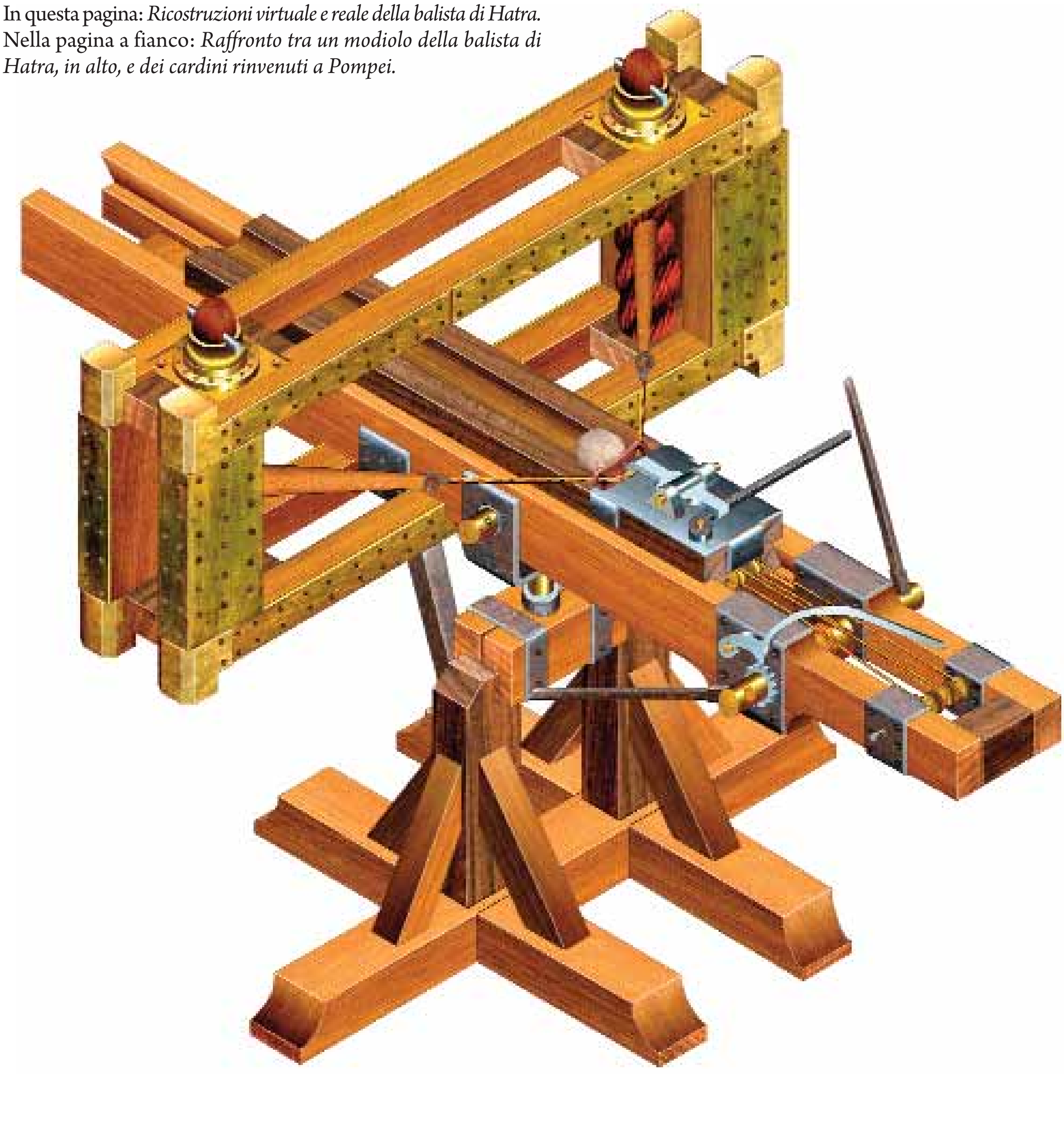
A fianco: *Rilievi ortogonali dei reperti del* capitulum *della balista di Hatra.*
Sotto: *Ricostruzione virtuale dello stesso* capitulum.
In basso: *Schema di funzionamento del movimento palintone dei bracci nella balista di Hatra.*





incurvamento, di circa uno o due millimetri, deformazione provocata dalla fortissima trazione esercitata dalle matasse attraverso i modioli. Al centro delle stesse un ampio foro perfettamente circolare del diametro di circa 21 cm con un bordino sottostante di circa 3 cm, leggermente conico: a breve distanza dalla sua circonferenza otto buchi rotondi di circa un 1 cm, disposti in coppie distanziate di 90°. Nel grande foro s'inseriva il collarino inferiore del modiolo, di diametro esterno appena minore e di analoga configurazione conica. La leggera tolleranza fra i due pezzi veniva probabilmente lasciata per il lubrificante. Nei buchi, invece, si infilavano i perni di bloccaggio, i quali, per la potenza delle matasse, dovevano essere almeno quattro contemporaneamente: dettaglio che spiega la notevole precisione meccanica dell'insieme.

In questa pagina: *Ricostruzioni virtuale e reale della balista di Hatra.*
Nella pagina a fianco: *Raffronto tra un modiolo della balista di Hatra, in alto, e dei cardini rinvenuti a Pompei.*



Circa i modioli, di cui soltanto tre ritrovati, sono interamente di bronzo, di rilevante peso. Il loro diametro esterno è di cm 28, mentre quello interno in sommità è di 17.5 ed alla base di 16. L'altezza di ciascun esemplare è di cm 12.3 con un'emergenza sulla piastra di 11.2. Lungo la loro massiccia corona sono praticati, con straordinaria precisione geometrica, ben 16 fori circolari del diametro di cm 1, caratteristica che consentiva una registrazione minima di appena 22° 30'. La presenza di tracce di ossido di ferro al loro interno testimonia l'impiego di perni di ferro, ulteriore implicito riscontro della enorme potenza delle matasse, che dovevano fornire trazioni eccedenti le 100 t! Ovvio pertanto che le rispettive sbarrette di ancoraggio nei modioli – in pratica delle vere spranghe – ostentino una lunghezza di circa 29 cm per uno spessore di 3 ed un'altezza di circa 2: ovvio, pure, che per evitare di lesionare il collarino si dovette escogitare un particolare tipo di modiolo.

Insieme ai suddetti reperti, come accennato, sono state ritrovate anche altre componenti metalliche verosimilmente appartenenti alla stessa arma. Di queste le più interessanti consistono in 5 cilindretti di bronzo, muniti di asse centrale di ferro e di una leggera gola, lunghi circa cm 3.5 per quasi 4 di diametro, leggermente incavati. Si tratta quasi certamente delle pulegge di un paranco a cinque rinvii, il famoso *pentaspaston* ricordato da Vitruvio, proprio per ridurre gli sforzi molto intensi.

La cheiroballistra *di Erone*

L'artiglieria di Erone tradisce una vistosa evoluzione rispetto a quella descritta da Vitruvio e la si ritrova raffigurata nelle spire della colonna Traiana: la nota distintiva più importante è la sostituzione della struttura in legno con una più snella di ferro, soluzione che consentì di adottare ed adattare il movimento palintone anche alle catapulte di piccole dimensioni, con rilevante potenziamento delle prestazioni dell'arma. Questa la descrizione lasciataci da Erone della sua *Cheiroballistra*, ovviamente tratta da un codice greco:[56]

1- Si abbiano due regoli di legno lavorati a coda di rondine, rispettivamente AB e GD, con coda di rondine quadrangolare, di cui si chiamino femmina quello AB e maschio quello GD. AB deve possedere una lunghezza di 3 piedi e 4 dita, [pari a mm 961] *una larghezza di 3 dita e mezzo* [pari a 65.6 mm]*, uno spessore di 4 pollici e mezzo* [pari a 83.2 mm]. *A sua volta GD deve possedere una lunghezza di 3 piedi* [pari a 887 mm]*, una larghezza uguale a 2 dita e mezzo* [pari a 46.2 mm]

56 Il codice citato proviene dal manoscritto *M Codex Parisinus inter supplementa Greca* 607 (foll. 56r-58v). Bibliotheque Nationale, Paris.

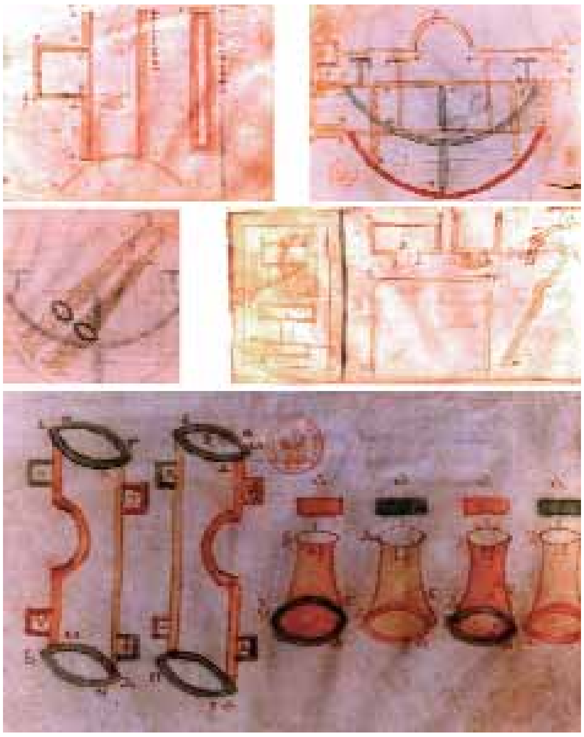
ed uno spessore di 1 dito ed un quarto [pari a 23.1 mm]. *Il canale del regolo AB deve avere una profondità di 1 dito* [18.75 mm], *dell'intero regolo AB senza riduzioni deve essere scanalata la porzione AZ lunga 2 piedi e 14 dita* [pari a mm 850.1]*; in tal modo resta la porzione ZL di 6 diti* [pari a mm 111]. *Quindi di nuovo deve misurarsi sopra il regolo AB la porzione AT pari ad 1 piede e 12 dita* [517.5 mm], *e AK pari a 1 piede e 5 dita* [388.1 mm], *in maniera che resta Kf pari a 7 dita* [129.4 mm]. *Si deve poi ancora misurare sopra lo spessore del regolo AB, di dita 4 e mezzo* [pari a mm 83.2], *1 dito e mezzo* [27.7 mm] *ed essere ritagliato* (da sotto) *da A fino a K, e quindi da L fino a T; così la porzione da K fino a T che conserva il suo spessore originario di 4 dita e mezzo* [83.2 mm] *deve indicarsi XWYF. Si abbia inoltre un pezzo di legno in forma di luna crescente HB, che debba, bucandolo al centro con un foro quadrangolare, restare unito saldamente alla faccia inferiore di LB del regolo AB, come mostra la sottostante figura. La porzione ED del regolo GD deve essere un risalto a coda di rondine, che deve entrare nella scanalatura di AB, vale a dire, nel canale da A fino a Z, o sia la parte DE del regolo GD.*

2- Vogliamo ora parlare così del catenaccio. Si abbia una maniglia di ferro ABGD della forma sotto raffigurata; e una forcella a due punte EZ con un manico quadrangolare ZT; un arpione KLM; un chiavistello NX; e un telaio, quadrangolare e aperto da sotto, OPRS. La maniglia ABGD deve essere traforata in A, il regolo GD, che è stato descritto nel primo paragrafo, deve essere traforato in M, N e X, e per precisione in M e N per l'intero spessore con un foro circolare; in X, con uno quadrangolare; e la maniglia deve essere innestata in modo che un perno, passando attraverso di M ed N e attraverso il foro della maniglia stessa, vi crei un legame. Dunque foreremo la forcella Et in T ed y, e l'arpione KLM in F, faremo passare un perno attraverso i fori da entrambe le parti t, y e F formeranno perciò un vincolo tale che l'arpione può girare liberamente intorno al perno. L'arpione deve tenere longitudinalmente una incavatura in LM di 1 dito [pari a mm.18.5]. *Misuriamo ora la porzione DO sopra il regolo GD, pari a 5 dita* [92.4 mm], *trapaniamolo trasversalmente in O, inserendovi l'asta della forcella EM e stabiliamoci una connessione tale che risulti in permanenza inamovibile. Dopo di ciò, trapaniamo il chiavistello NX in N, ed il regolo GD, che si è descritto nel primo paragrafo, nel punto P, che dista 4 dita* [circa 72 mm] *da M, innestiamo attraverso il foro del chiavistello e attraverso A un perno perpendicolare e stabiliamo così un vincolo tale che il chiavistello NX possa girare facilmente intorno al perno. Misuriamo quindi fino alla maniglia <AB> GD la porzione XP e trapaniamo in R; dopo di ciò prendiamo da questo punto 4 dita e mezzo [pari ad 83.2 mm] più in là, cioè, la porzione RX, e trapaniamo in R; ed ora innestiamo un…* [manca nel codice: forse si tratta di un perno] *nel regolo GD, che si è descritto nel primo paragrafo.*

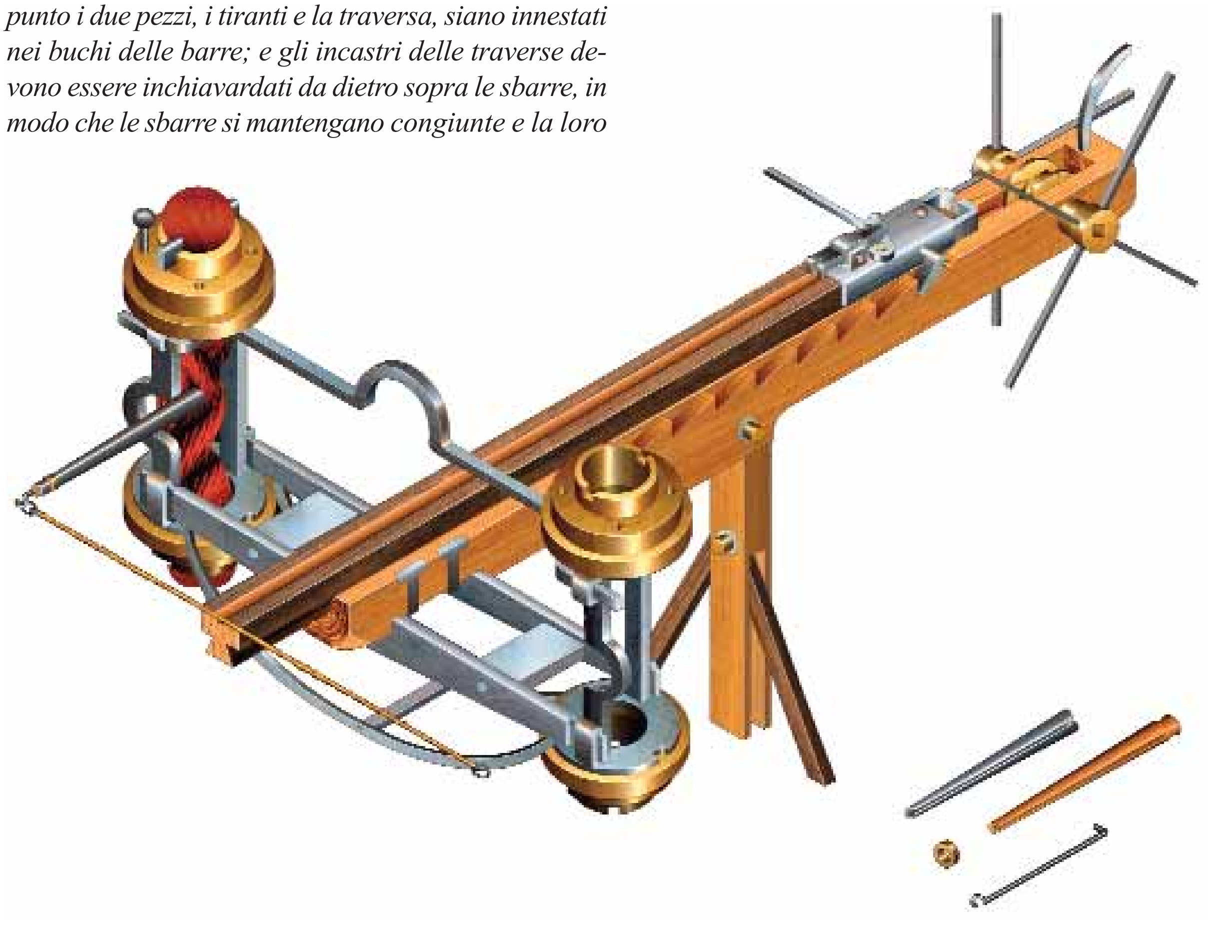
3- I cosiddetti kambestria devono essere fabbricati interamente nella seguente maniera. Per l'esattezza, dopo che sono state preparate quattro sbarre di ferro, le quali tengono una lunghezza tra le estremità di 10 dita e mezzo [pari a mm 195], *una larghezza di 2/3 di dito* [pari a mm 12.3] *e poco più di spessore, in modo che non si possano piegare facilmente... Debbono indicarsi rispettivamente AB, GD,EZ, HT, come sta disegnato nella figura; con anelli ad entrambe le estremità KL, MN, XO, PR, i quali hanno un'ampiezza di 2 dita* [pari a 37 mm], *una larghezza di un dito* [pari a mm 18.5] *ed un identico spessore delle sbarre di ferro. La distanza interna fra le sbarre di ferro deve ascendere a 3 dita e mezzo* [pari a 65.6 mm]. *Siano inoltre <8> quadrilateri S, T, Y, F, X, W, O, A', collocati sopra le sbarre di ferro AB, GD, EZ, HT, i quali abbiano lo stesso spessore delle sbarre di ferro e una ampiezza di due terzi di dito* [pari a mm 12.3]. *Si abbiano adesso inoltre <4> cilindri leggeri di bronzo B'G', D'E', C'Z', H'T', ciascuno con una altezza di 2 dita* [pari a 37 mm] *e lo stesso spessore delle sbarre di ferro e la loro ampiezza abbia un diametro di 1 pollice ed un terzo* [24.6 mm]. *Inoltre debbono esservi quattro anelli sopra e sotto, i quali girano intorno alla superficie convessa dei cilindri M_AM_B, M_GM_A, M_EM_C, M_ZM_H, e distano dai <4> punti B',D',C' e H' un dito ed un quarto* [pari a mm 23.1]. *Devono avere una larghezza di due terzi di dito* [pari a mm 12.3] *ed uno spessore come le sbarre di ferro. I cilindri B'G', D'E', C'Z', H'T', devono tenere in corrispondenza del diametro gli alloggiamenti C, C<C, C in cui si incastrano gli estremi delle quattro sbarrette di ferro M°, M°, M°, M°, le quali tengono una lunghezza fra l'estremità di 3 dita* [pari a 55.4 mm] *ed uno spessore di due terzi di dita* [pari a 12.3 mm].

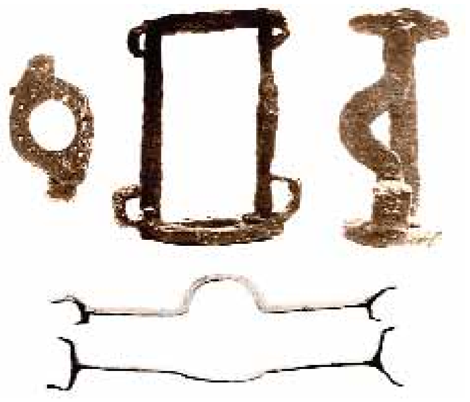
4- Si abbia nuovamente il cosiddetto kamarion, come è rappresentato sotto, ABGDEZH; la linea GH deve ascendere ad un piede e 7 dita e mezzo [pari a 424.3 mm], *la larghezza all'interno di t fino a K di nuovo 5 dita* [pari a 92.4 mm]*; la lunghezza*

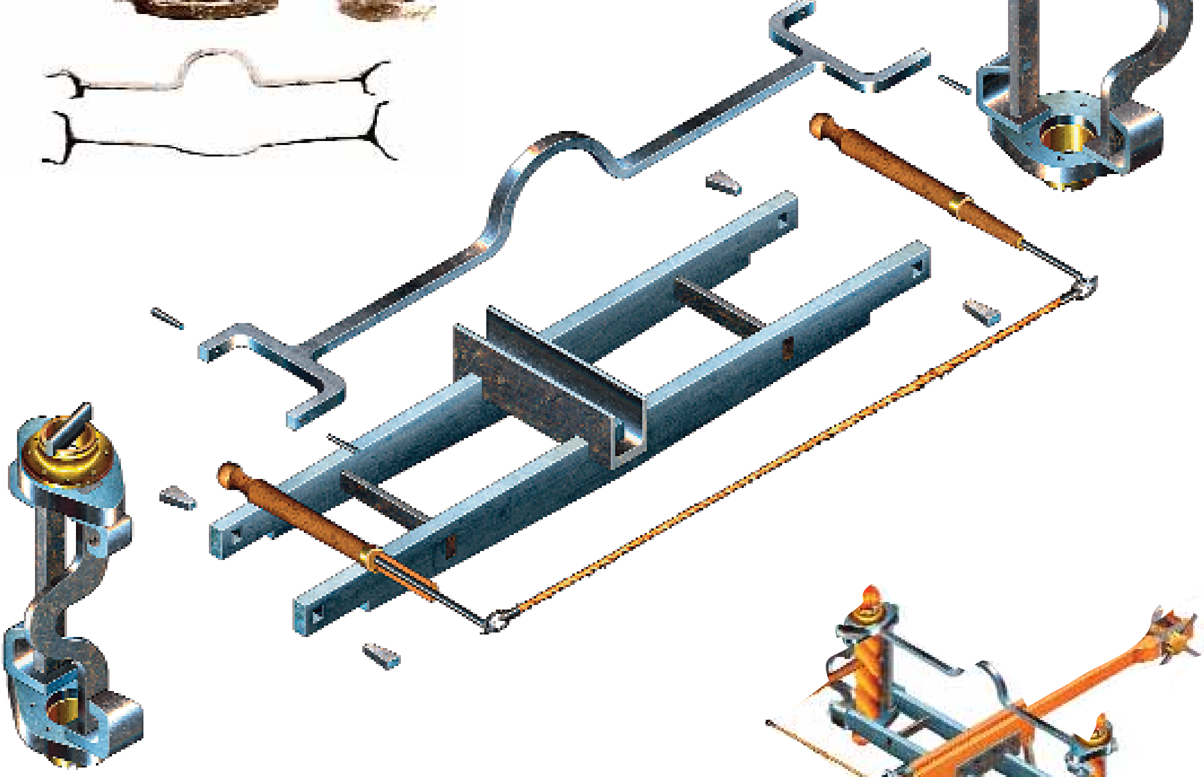
di entrambi le parti A e Z deve essere di 4 dita [pari a 74 mm]*; quella di entrambe le porzioni B e H, 2 dita* [pari a 37 mm]*; la separazione interna tra A e B, Z e H incidentalmente ascende a 3 dita e mezzo* [pari a 64.6 mm]. *Nuovamente lo spessore deve essere lo stesso a suo tempo precisato per le sbarre di ferro.Il cosiddetto kamakion OD'LMNXOIRS deve essere composto di due barre, corrispondendo alla figura come sta in basso disegnata; e la barra OIRS deve tenere una lunghezza di 1 piede e dieci dita* [pari a 480 mm]*, di nuovo LMNX una lunghezza di 1 piede ed 8 dita* [pari a 443.7 mm]*; la larghezza deve ascendere per la sezione y e t a 2 dita* [pari a 37 mm]*, in OP e RS, a un dito e un quarto* [pari a 23.1 mm]. *Lo spessore di ciascuno dei <4> incastri AB', NG', OD', RE', deve ammontare a 2 dita* [pari a 37 mm]. *A questo punto debbono dividersi le sbarre LMNX OPRS in tre parti uguali F, T, W e X, y, O; quindi T e Y devono essere forate longitudinalmente con buchi quadrati, e poi F e X, W e O con buchi circolari. Si abbia ora la traversa ty con una lunghezza di 3 dita* [pari a 55.4 mm]*, senza l'incastro; con una larghezza di 2 dita e mezzo* [pari a 46.2 mm]. *Si abbiano inoltre ancora due tiranti FX e Wo con una lunghezza di 3 dita* [pari a 55.4 mm]*, senza l'incastro; con una larghezza di 2 dita e mezzo* [pari a 46.2 mm]. *A questo punto i due pezzi, i tiranti e la traversa, siano innestati nei buchi delle barre; e gli incastri delle traverse devono essere inchiavardati da dietro sopra le sbarre, in modo che le sbarre si mantengano congiunte e la loro*

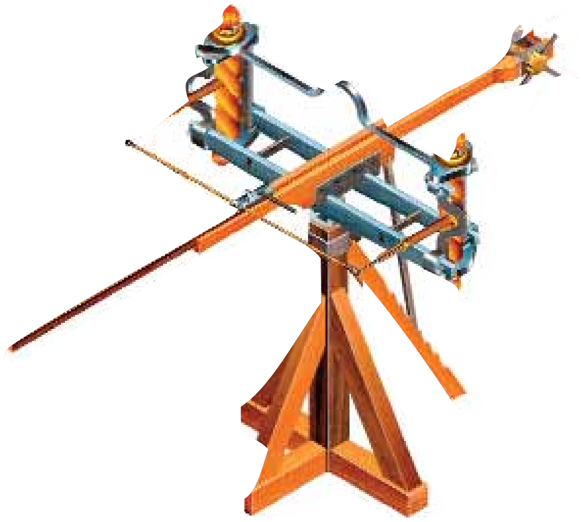


Sopra: *Raffigurazione grafica dei componenti metallici della cheiroballistra tratti dal ms.* M-Codex Parisinus inter supplementa Greca 607 (foll. 56r-58v). *Bibliothèque Nationale, Paris.*
Sotto: *Ricostruzione virtuale della cheiroballistra di Erone.*





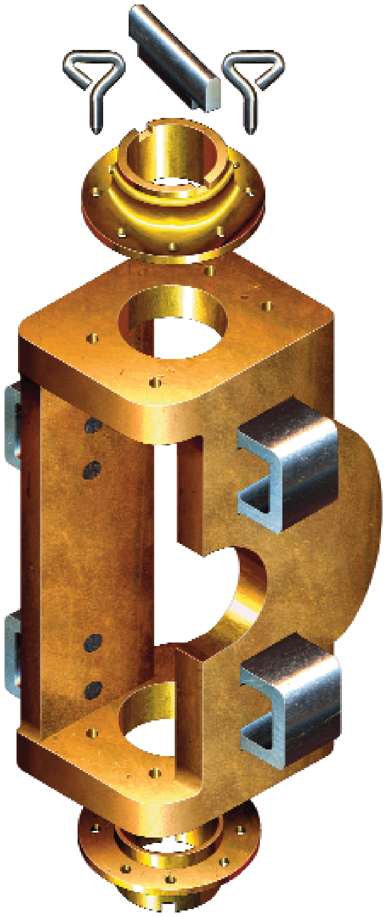


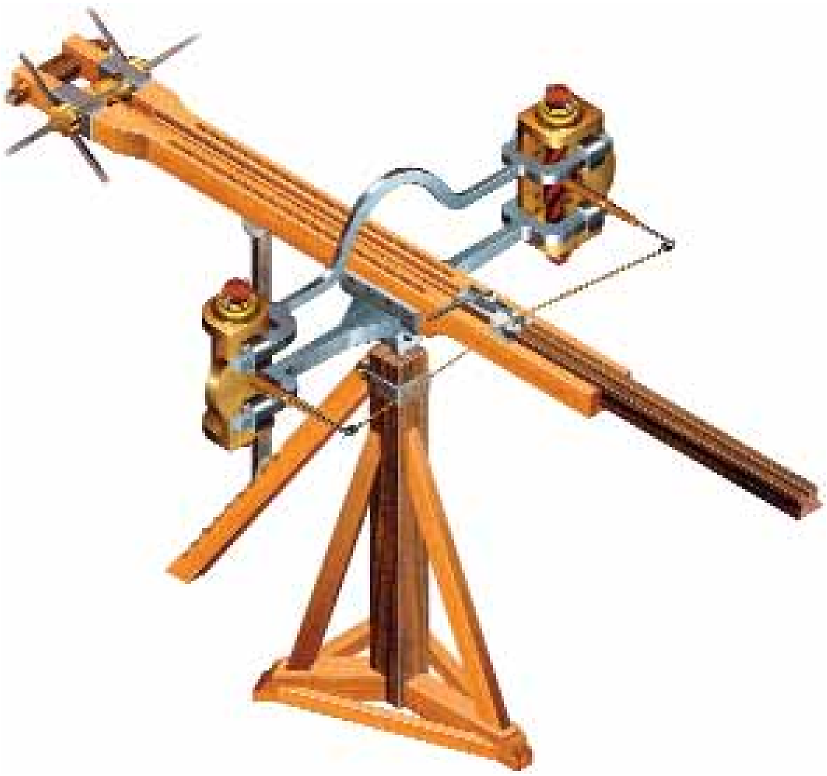


In alto: *Inquadrature ortogonali del reperto di Orsova, Romania, rinvenuto nel 1969.*
Sopra: *Il capitulum della catapulta di Orsova esploso. Recuperata la connotazione originale del kambestrion e della barra superiore di accoppiamento, il kamarion, risulta semplice completare, avvalendosi anche dei grafici medievali, l'intera arma, fornendone così una visione complessiva.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale dell'intera catapulta.*

distanza interna ascenda a 3 dita [pari a 55.4 mm]. *Si debbono inoltre inchiavardare sopra la barra LM e la barra OR i <supporti> C, C da entrambi i lati della traversa ty, i quali tengono una lunghezza di 3 dita* [pari a 55.4 mm], *una larghezza di un dito* [pari a 18.5 mm] *e uno spessore adeguato; debbono essere forati al centro e distare uno dall'altro 2 dita e mezzo* [pari a 46.2 mm]. *Ora debbono essere fabbricati due corpi conici ABHD e EZHT, con una lunghezza di 11 dita* [pari a 203.3 mm] *ciascuno. Lo spessore della punta di ciascun cono AB e EZ deve ascendere a mezzo dito* [pari a 9.2 mm], *lo spessore di ciascuno alla base GD e HT, ad un dito* [pari a 18.5 mm]. *Inoltre debbono possedere una scanalatura longitudinale quadrangolare ed un risalto nelle punte AB e EZ, di modo che pezzi muniti di anelli, che sono stati preparati per incastrarsi nella scanalatura e nel risalto, possano essere innestati nella scanalatura e risalto dei suddetti coni. I pezzi provvisti di anello debbono definirsi KLMN e XOHP, gli anelli, KL e XO. I pezzi inoltre devono tenere di sopra sulle estremità MN e HR ciascuno una piega, la cui ampiezza ascende a mezzo dito* [pari a 9.2 mm]... *Erone* Cheiroballistra.

Gli ottimi risultati della *cheiroballistra*, in latino *manuballista*, subito verificati, determinarono la





In alto: *Il reperto di Sala, Marocco, rinvenuto nel 1960.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale del reperto con applicati i supporti per il kamarion ed i modioli esplosi.*
Sopra: *Ricostruzione virtuale dell'intera catapulta.*

dismissione delle catapulte di tipo vitruviano. Quanto al testo citato, ci è pervenuto in una sua trascrizione medievale, completa pure dei grafici in assonometria, per la cronaca uno dei primissimi esempi di esploso. È interessante osservare che in esso il dimensionamento non è più di tipo modulare, ma fisso con misure reali di tutti i pezzi che sono perciò raffigurati in scala. La novità deve relazionarsi alla tipologia dell'arma per impiego individuale e quindi per ragioni fisiologiche di grandezza standard. Reperti e resti significativi della *cheiroballistra* sono stati rinvenuti in Francia, in Marocco, in Romania ed in Germania, tutti sostanzialmente concordanti per diametro delle matasse, per cui ne è stata agevole la ricostruzione.

Artiglieria a molle metalliche

A partire dal II secolo a.C., l'esigenza di artiglierie elastiche insensibili all'umidità, e per impiego navale e per impiego nei climi nordici, determinò un recupero per lo meno concettuale di quelle a flessione, tentando di realizzarle con archi metallici, peraltro non nuovi nella storia. La richiesta, pertanto, si concentrò proprio intorno ad una molla che non fosse più un aggregato di legno, corni e tendini, ma una robusta lamina di metallo forgiato e temperato, dalla notevole elasticità, ideale motore di modesto ingombro ma di grande potenza, costanza e longevità. Da lì alla molla a balestra il passo era breve, sia che fosse d'acciaio che di bronzo. Dal punto di vista meccanico, la molla in generale e quella a balestra in particolare, sono un elemento meccanico di scarsa valenza tecnologica, oggi come ieri. Diversa la realtà, trattandosi del primo sistema elastico reversibile in metallo. Dal punto di vista etimologico il termine *balestra* sembra derivare dalla notissima arma medievale: proviene, invece, dalla misconosciuta voce verbale greca *ballein*= scagliare la pietra, passando attraverso i vocaboli *ballista, balista, ballistra, balestra.* La sua invenzione è attribuita a Ctesibio, che la elaborò, ovviamente, per una macchina da lancio insensibile all'acqua. Nella fattispecie, essendocene pervenuta la dettagliata descrizione di Filone di Bisanzio, sappiano che l'approntamento prese l'avvio dalla preparazione delle foglie di bronzo, che lui chiamò *squame*. Così la traduzione dal greco del testo:[57]

In particolare vennero ricavate le squame [lame] *da lastre di bronzo ed una volta finite misuravano 12 dita di lunghezza, 2 di larghezza ed 1/12 di spessore* [240 x 120 x 1.7 mm]. *Esse furono fuse del migliore rame rosso di cui si potesse disporre, accuratamente purificato e reiteratamente raffinato. In seguito in ciascuna mina di rame vennero fuse 3 dracme di stagno anch'esso purificato e raffinato più volte.*

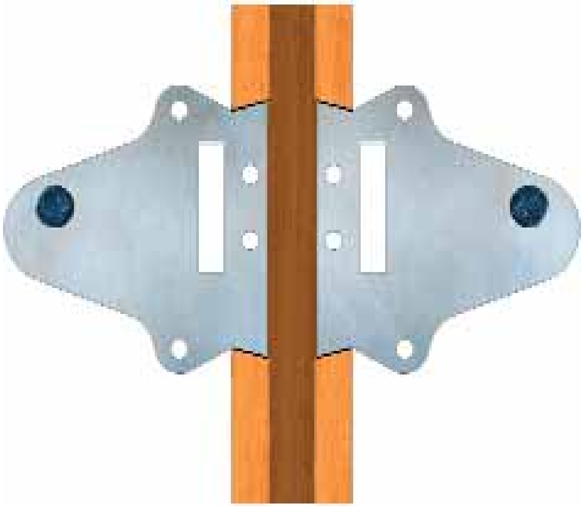
Poi quando le squame erano forgiate e sagomate, assumendo le giuste dimensioni, gli veniva impartita una leggera curvatura tramite una matrice di legno. Dopo di ciò, si martellavano, a freddo, ininterrottamente per molto tempo, in maniera da uniformarne lo spessore, [rendendole] *lisce lungo il bordo e perfettamente levigate sulle facce maggiori, avendo cura di farle combaciare precisamente alla matrice. Quindi si assemblavano a coppie, collocandone le facce concave a contrasto fra loro, limandone con cura i bordi e fissandole l'una all'altra con dei perni.* Filone.

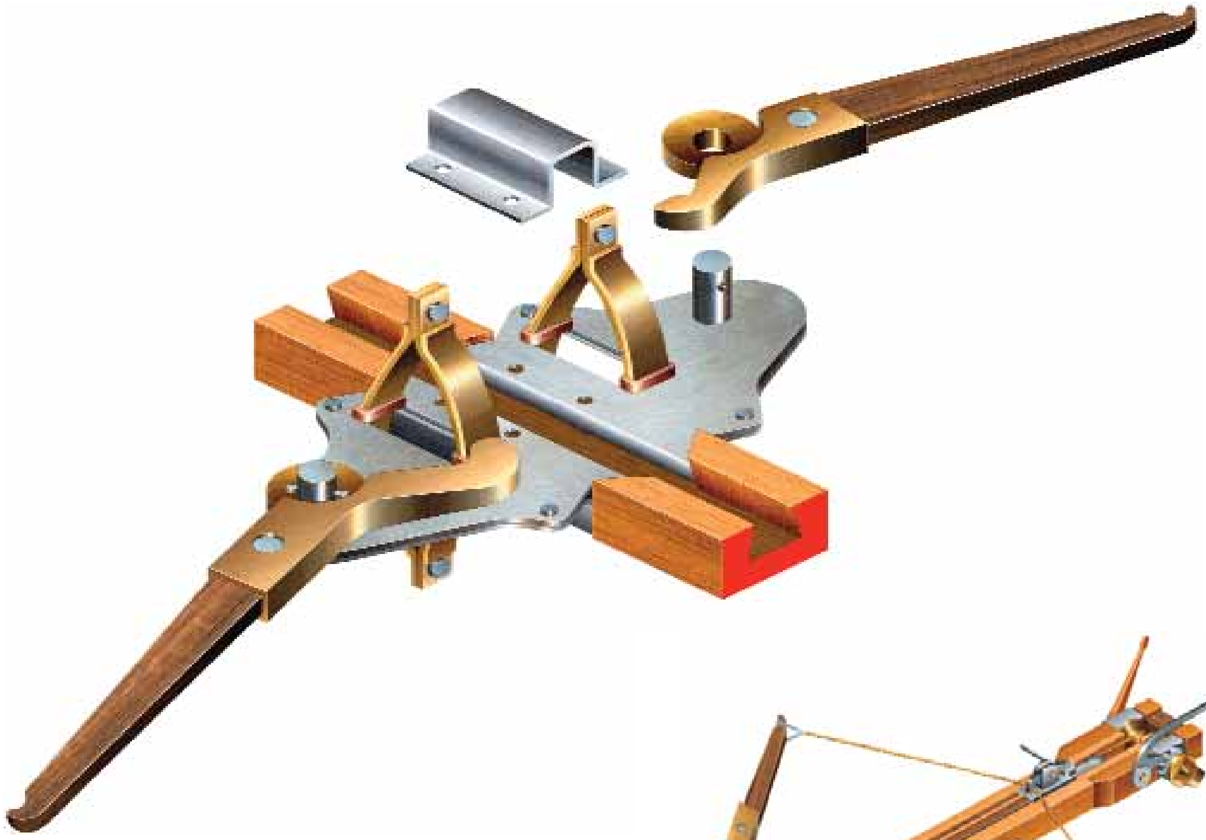
Alquante allusioni lasciano dedurre che Ctesibio limitò le sue molle di bronzo a due sole foglie. Di esse, quella maestra con due perni passanti la fissò ad una simmetrica opposta, collocando poi sull'estradosso di entrambe, le seconde foglie, lasciandole libere all'estremità. Uniformi, per tutte, curvatura e dimensioni, in special modo lo spessore, pari a circa 10 mm a foglia. La connotazione risultante, quindi, comprendeva due foglie sovrapposte ad ognuno dei due archi contrapposti: un insieme che ricorda molto da vicino le balestre ellittiche dei calessi o delle carrozze ferroviarie, definite attualmente *molle composte a foglie*, o più semplicemente *balestre*.

Sopra: *Rame allo stato nativo, purissimo e rarissimo.*
Sotto: *Stagno allo stato nativo.*

57 Il testo di Filone sulla catapulta a molle di bronzo è contenuto nella sua *Belopoeica* ed è stato tradotto e pubblicato in inglese da E. W. MARSDEN, *Greek and roman artillery. Technical treatises,* New York 1971, pp. 106 e sgg.

Le foglie non erano d'acciaio, perché non ancora disponibile di qualità omogenea e poco ossidabile, ma di una particolarissima lega di bronzo, composta per 97 parti di rame con 3 di stagno, titolo perfettamente uguale a quello impiegato ancora oggi per realizzare molle di bronzo. Un minimo scarto fra le quantità dei due metalli, una loro minima impurità e l'elasticità sarebbe scomparsa! Per equipaggiarne la sua catapulta Ctesibio si avvalse di due supporti di ferro a forma di foglia d'edera, ovvero di due piastre lobate, inserendo in ciascuna una molla a balestra. Un perno delle piastre fungeva da fulcro per i rispettivi bracci, ai quali era fissata la corda. Soluzione abbastanza simile ad un moderno cavatappi a bracci mobili!





In alto: *La staffa a foglia d'edera così come descritta da Filone.*
Sopra: *Ricostruzione virtuale del gruppo motopropulsore della catapulta a molle di bronzo di Ctesibio: si notano le due grosse balestre in bronzo realizzato con una particolare lega che lo rende molto elastico.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale dell'intera catapulta ottenuta adattando la normale componentistica all'innovativo motore.*

Cinematismi e automatismi: la catapulta a ripetizione

Quali potenzialità e varietà intorno al II sec. a.C. avessero ormai raggiunto le catene cinematiche, lo si può dedurre dalla comparsa di una singolare arma automatica, la prima della Storia, di cui purtroppo non si ha alcuna contezza circa l'effettivo impiego: *la catapulta a ripetizione*. Dal punto di vista meccanico la si può considerare il vertice di quanto fino ad allora realizzato in materia di artiglieria eutitona, una sintesi di tutte le più avanzate e sofisticate elaborazioni tecniche. Stando alla descrizione di Filone di Bisanzio, l'arma di Dionisio di Alessandria deve collocarsi fra il II ed il I secolo a.C.. Del resto l'ingegnere risulta operante appunto in quello scorcio storico nell'arsenale di Rodi, uno dei più avanzati, e molti dei complessi cinematismi e automatismi meccanici che elaborò per la sua catapulta sono ancora di vasto impiego. Questa la traduzione del testo dal greco:[58]

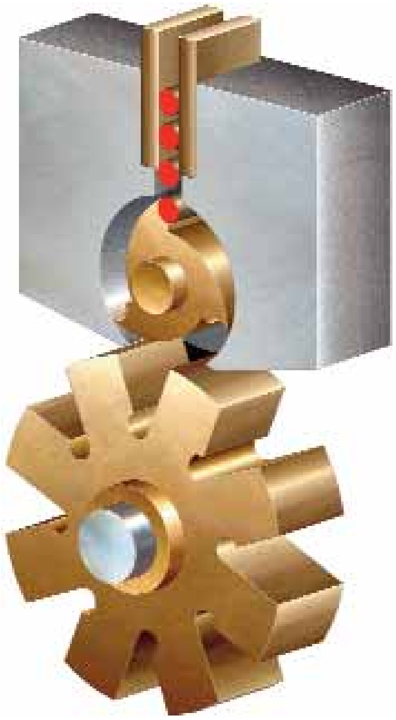
Un certo Dionisio di Alessandria costruì a Rodi un'arma chiamata catapulta a ripetizione, un congegno senza dubbio unico e molto complicato. Questo piccolo scorpione era di poco più potente di uno che montava un motopropulsore di un cubito [mm 462] *e non molto più debole di uno che ne montava un altro di tre spanne* [mm 231 x 3 = mm 693] *e lanciava dardi di un cubito e un dattilo* [mm 462 + 19.3 = mm 481]. *I dardi non erano intaccati posteriormente e disponevano di soli tre impennaggi. In questo modo un buon gruppo di frecce erano caricate tutte insieme nello stesso tempo in uno stretto serbatoio e quando la piastra era portata avanti il suo artiglio saltava sopra la corda arciera afferrandola, venendo quindi automaticamente bloccato dal meccanismo di scatto. L'artiglio veniva quindi tirato indietro trascinando con sé la corda arciera, sin quando uno dei dardi non cadeva nel canale di lancio: un ulteriore piccolo arretramento ne provocava lo sgancio. La sequenza continuava a ripetersi finché tutti i dardi non fossero stati espulsi, dopo di che altri dardi ancora venivano collocati alla rinfusa nel serbatoio, cosicché il servente non aveva altro da fare, oltre a ciò, che far muovere avanti e indietro la slitta girando le apposite leve, il che provocava un tiro molto rapido. Essa era costruita come di seguito.*

Una sorta di colonna esagonale costituiva il montante verticale ai lati del quale ad intervalli regolari stavano fissate delle piccole assi, collegate fra loro da traverse alla base, in modo da formare una sorta di piattaforma. Regoli orizzontali tenevano insieme la struttura, simile ad uno sgabello a tre gambe. In testa al montante esagonale stava collocato un giunto universale che poteva far muovere l'arma in ogni direzione. La lunghezza del fusto risultava conforme alle normali catapulte ma il suo spessore era di 6 dattili, di 3 senza il canale, per una larghezza di 5 dattili. Sul fusto stava collocato un supporto di legno di appropriata larghezza ed altezza che finiva per combaciarvi interamente, pur essendo appena più lungo dell'arretramento massimo della corda.

La slitta, o tiretto (essendo costruita appunto come un tiretto in quanto poteva essere spinta avanti e dietro lungo il canale del fusto), aveva infisso sul dorso un artiglio di bronzo biforcuto anteriormente. Esso era congegnato in modo tale che automaticamente all'estremo anteriore afferrava la corda arciera e la tratteneva bloccandosi, quindi trascinato fino all'estremo posteriore, per azione del dispositivo di scatto la liberava, il tutto nel seguente modo. Al di là della manovra effettuata tramite appositi riscontri tanto l'arpione che la leva di sgancio sono praticamente gli stessi di quelli impiegati dalle comuni catapulte. Unica modesta differenza la minore altezza della forcella con il relativo arpione e la minore sporgenza laterale della leva di sgancio. In dettaglio allorché la corda arciera doveva essere retrocessa, la leva del dispositivo di scatto si trovava spostata in avanti, avendola spinta così un apposito riscontro fissato all'incastellatura posteriore. L'artiglio di bronzo pertanto giunto all'intersezione con la corda, essendo libero si alzava grazie alla sua configurazione a cuneo saltandovi sopra. Immediatamente dopo averla scavalcata la leva di scatto veniva spinta indietro da un secondo apposito riscontro di bronzo incuneandosi fortemente al di sotto dell'artiglio, impedendogli così di sollevarsi in modo tale che tirato dietro trascina con se la corda.

Quando la corda arciera è tirata dietro fino ad una precisa distanza, pari alla lunghezza del dardo, questo viene fatto cadere nella sua posizione di lancio automaticamente, armando la catapulta. Subito dopo la corda è tirata ancora un altro poco indietro, in modo da far urtare la leva di scatto al riscontro di bronzo, che ne provoca così la rimozione liberando perciò l'artiglio e per conseguenza la corda stessa che scaglia il dardo.

58 Il testo di Filone sulla catapulta a ripetizione è contenuto nella sua *Belopoeica*, ed è stato tradotto e pubblicato in inglese da E. W. MARSDEN, *Greek and roman artillery. Technical treatises*, New York 1971, pp. 106 e sgg.

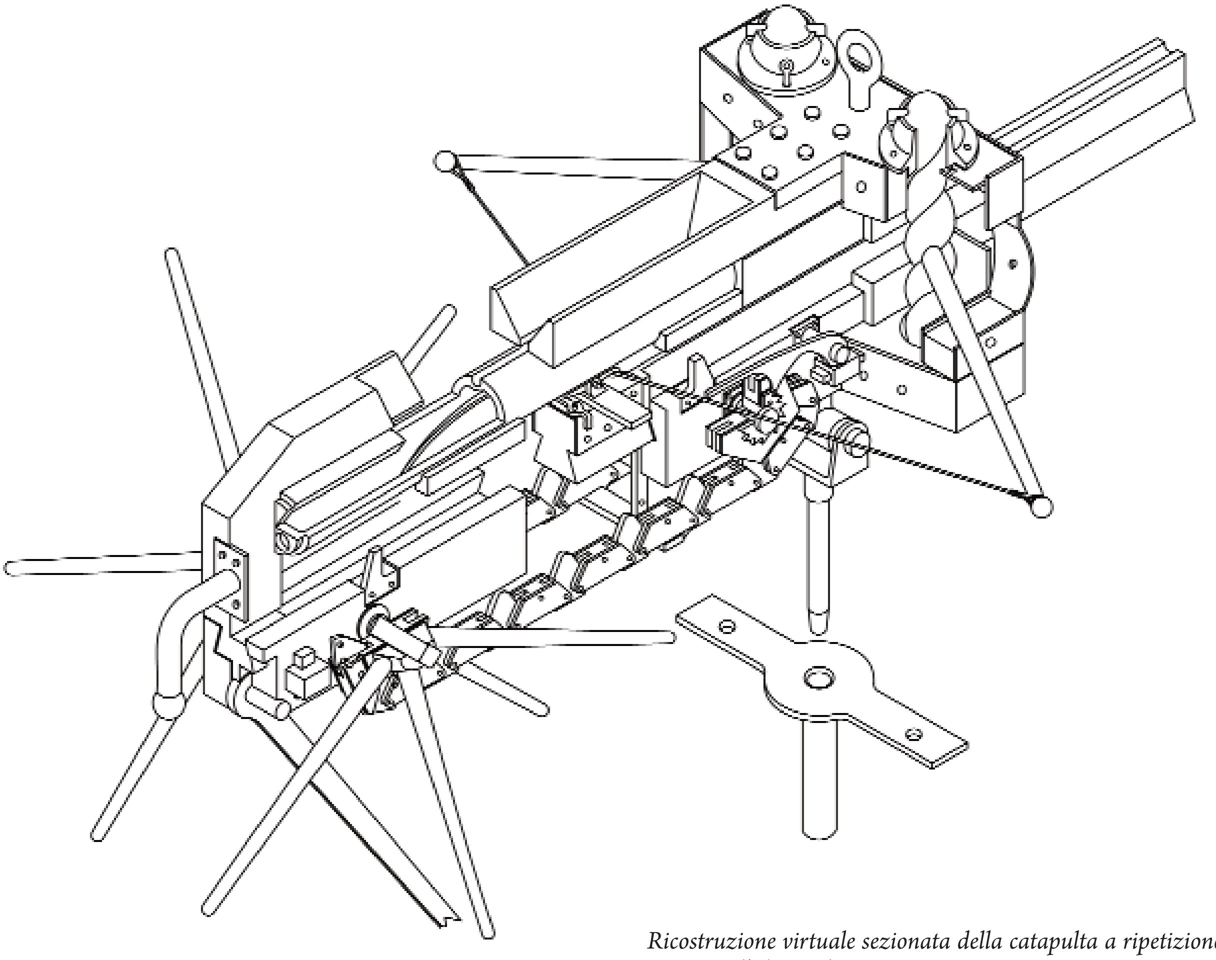


Dall'alto: *Ricostruzione virtuale del sistema di caricamento della catapulta a ripetizione di Dionisio confrontata con quello della mitragliera Gatling del XIX sec..*

Il recupero della corda arciera avveniva in questo modo. Quando molti dardi erano caricati simultaneamente essi cadevano singolarmente nel canale in questo modo. Una seconda struttura era su quella già descritta: ne aveva la stessa lunghezza e la stessa larghezza ma una profondità di soli 9 dattili. Essa poggiava al di sopra del fusto in modo da lasciare però uno spazio di circa un dito fra loro, interstizio necessario al movimento della corda. L'assemblaggio con il fusto avveniva nella parte terminale, in corrispondenza dell'asse del verricello, e nella parte frontale presso il montante del gruppo. In particolare stava fissato a quest'ultimo in prossimità del foro di attraversamento della slitta. La sua parte superiore era divisa in due parti, per il resto non differiva dalla altre catapulte.

Il serbatoio dei dardi era posizionato nella parte superiore e li faceva cadere in quella inferiore al posto giusto nel modo seguente. La struttura superiore era dotata di un cilindro appropriato per diametro alla larghezza anteriore del montante. Il cilindro stava posizionato nella parte più bassa della struttura e risultava alquanto più lungo dell'escursione massima della corda arciera. Il cilindro aveva una scanalatura longitudinale dimensionata per accogliere un dardo quando quello cadeva dalla struttura superiore, appositamente realizzata in modo da farne passare uno per volta: ed appunto soltanto uno di loro veniva fatto ruotare dal cilindro. Ma quando il cilindro aveva girato e la scanalatura puntava verso il basso il dardo cadeva fuori di essa nella guida e questa lo accompagnava sopra il canale in cui cadeva. Alla fine il dardo andava a collocarsi esattamente nel canale al centro della corda arciera ed a breve distanza da essa, proprio perché l'artiglio aveva due denti, così che veniva scagliato quando la corda veniva rilasciata. Circa i dardi va ribadito che erano fatti senza intagli o scanalature in modo da ricevere una sollecitazione sempre uguale favorendo l'adattamento della corda arciera in qualsiasi modo si fossero presentati dopo la caduta dinanzi ad essa. Il cilindro veniva fatto girare durante il percorso che faceva l'artiglio. Aveva un canale scavato nel quale procedeva un cuneo di bronzo: questo correva lungo il canale e faceva girare il tamburo, il quale non faceva altro che ruotare ora in un verso ora in un altro.

La catapulta di Dionisio non aveva corde per tirare indietro la slitta; possedeva invece due assi muniti da entrambe le estremità di due organi costruiti in forma di pentagono regolare. Constavano di due facce di durissima quercia rivestite di piastre di



Ricostruzione virtuale sezionata della catapulta a ripetizione di Dionisio d'Alessandria.

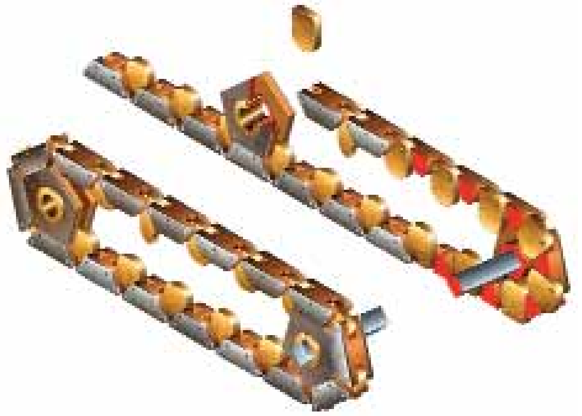
ferro, il tutto tenuto insieme con perni in modo continuo. Girano intorno all'asse, dall'una e dall'altra parte del fusto; concetto già impiegato nelle più potenti catapulte. Il collegamento fra i pentagoni è assicurato da pezzi di legno a forma di mattoncini rivestiti anch'essi di ferro, disposti uno dietro l'altro ad intervalli regolari e fissati con pinne di ferro che inserendosi nelle fessure dei pentagoni guidavano le catenarie. I piccoli mattoni avevano alcuni elementi sporgenti che lavoravano nello spazio tra gli organi pentagonali: un canale è appositamente ricavato in essi attorno all'asse di profondità uguale alla dimensione massima delle pinne, in modo tale che le maglie possano avere la facoltà di girarvi liberamente intorno. Il sistema per tirare indietro era così costituito rotante intorno all'asse per cui un uomo, agendo con le mani su dei bastoni spinti ora verso il basso ora al contrario, poteva esaurire le munizioni. Belopoeica*, Filone.*

La descrizione dell'arma lasciataci da Filone, come è facilmente comprensibile, non fu redatta per fugare ogni dubbio, mancando tra l'altro un vero glossario tecnico e un taglio analitico, ma solo per fornire una prima spiegazione evitando di entrare troppo nei dettagli tecnici, e per ragioni di opportunità e per difficoltà di comprensione. L'arma, che oggi potremo definire una mitragliera automatica meccanica, constava al pari delle nostre di più componenti: un motore, un serbatoio, un dispositivo di alimentazione, nonché di un affusto di supporto.

In pratica, stando a Filone, i dardi erano collocati in una tramoggia verticale che li trasferiva nella scanalatura di tiro, uno alla volta, mediante un tamburo rotante fatto girare alternativamente da una camma guidata, azionata dalla slitta. In definitiva, bastava la sola rotazione delle ruote ad aspi per far muovere il tamburo, la slitta, il meccanismo di agganciamento e quello di scatto. Il ciclo si ripeteva automaticamente senza soluzione di continuità o inversione di rotazione del rocchetto, fino all'esaurimento del caricatore, che, comunque poteva reintegrarsi, senza sospendere il tiro. È interessante osservare che la trasmissione del moto dall'albero delle ruote agli altri organi avveniva con due catene a maglie piane, trascinate da rocchetti pentagonali. Queste, simili a quelle delle moderne motoseghe, disponevano di

denti interni che s'inserivano nei vuoti del rocchetto motore pentagonale e dell'analogo di rinvio, evitandone la fuoriuscita. Modelli affini di catene, dette di *Galle*, sono al presente attribuite a Leonardo da Vinci e trasmettono il moto in tutte le biciclette e le motociclette.

Uno dei denti interni più lunghi trascinava nel moto la slitta che, a sua volta, trascinava la corda caricando le matasse del motore. Durante il moto una camma ad essa solidale provocava una rotazione di 180° al cilindro alimentatore, che prelevava un dardo dal caricatore e lo depositava nel canale dinanzi alla corda. Giunta la slitta a ridosso dell'estremità posteriore dell'arma, il dente la lasciava, mentre un riscontro ne apriva il dispositivo di scatto. Un istante dopo lo stesso dente, esaurita la rotazione nel rocchetto, riagganciava la slitta tramite una barra ad essa sottostante, trascinandola nuovamente ma nella direzione opposta. In prossimità della testa dell'arma, il secondo riscontro chiudeva l'arpione, dopo che aveva recuperato la corda, mentre l'alimentatore prendeva un altro dardo dalla tramoggia. Mezzo giro ancora del rocchetto e il ciclo si ripeteva.

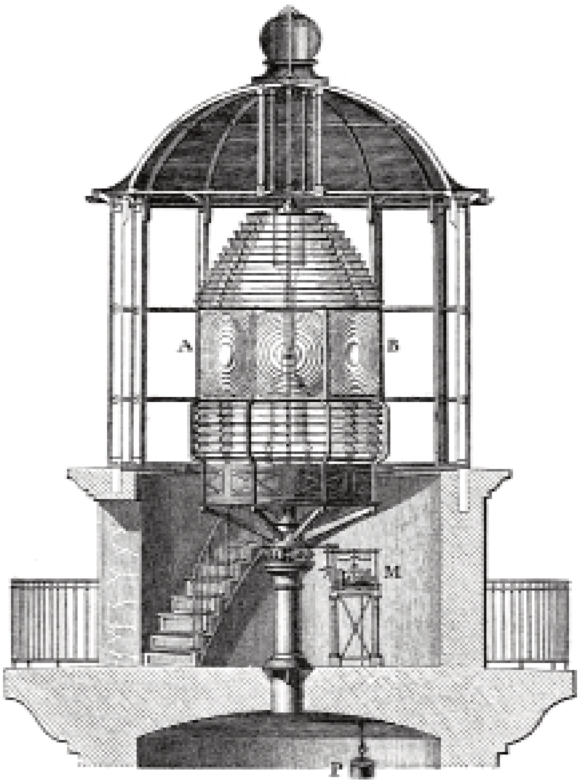


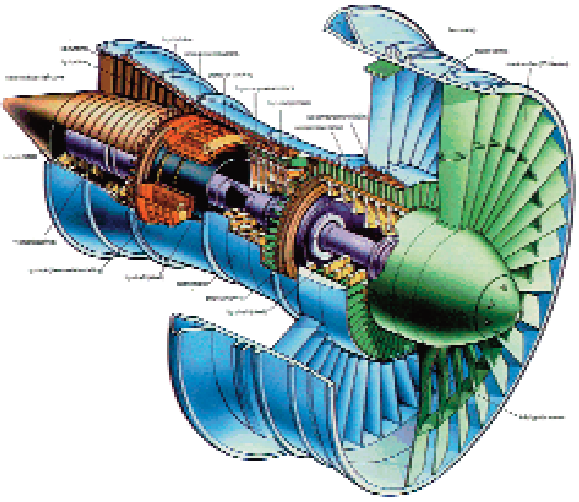
Motori e ambiti naturali

Al di là dei motori secondari elastici più o meno complessi e potenti, furono i motori primari quelli che in pratica potevano fornire prestazioni di lunga durata temporale e di notevole entità energetica, macchine azionate dalla forza dell'acqua o del vento e, più raramente dalla forza intrinseca del fuoco o da quella invisibile della gravità terrestre. In breve, da tutte le potenzialità dinamiche già presenti in natura, nei quattro ambiti delle radici filosofiche, nell'ordine terra, acqua, aria e fuoco. Che volendone attualizzare la definizione coincidono con gli odierni quattro stati d'aggregazione della materia, solido, liquido, aeriforme e, ultimo, del plasma! Strettissima analogia capace, se non altro, di spegnere i fin troppo facili sar- casmi sulla scienza antica, esito non di rado d'abborracciate interpretazioni e clericali traduzioni!

Pertanto, come i nostri motori lavorano in tutti e quattro gli stati di aggregazione della materia, anche quelli dei nostri antenati e, più in generale, tutta la loro tecnologia si sviluppava necessariamente nei corrispettivi ambiti: basilare criterio distintivo adottato per

A fianco ed in basso: *La ricostruzione virtuale di dettaglio della catena a maglie piane della catapulta a ripetizione di Dionisio confrontata con una del tipo Galle (sotto) e con i cingoli del carro armato T34 (in basso) con i denti che andavano ad inserirsi nei vuoti delle ruote motrici.*





la suddivisione del volume. Inoltre, dato che alla generica etichetta di motore si associa, sistematicamente, la qualifica di elettrico, idraulico, a gas, termico, ecc., che ne evidenzia la precipua energia di alimentazione, analoga precisazione sarà applicata pure ai motori primari dell'antichità. Avremo, pertanto:

– motori ad energia potenziale accumulata nei solidi, quale deformazione elastica per motori a molla o a gravità nei motori a peso, di cui abbiamo già esaminato relativamente ai soli primi le più avanzate e complesse realizzazioni militari.

In alto a sinistra: *Sistema di movimentazione della lanterna (A-B) di un faro del XIX sec. basato su di un motore a gravità (M) azionato dal peso (P).*
In alto a destra: *Turbina idraulica azionata da un getto d'acqua.*
Sopra*: Giranti eoliche per la produzione di energia elettrica.*
Sopra a sinistra: *Turbina a reazione di un moderno jet.*

Trattandosi comunque di energia accumulata ed erogata mediante una massa solida, sono ascritti allo stato solido, già della terra;
– motori idraulici, o ad acqua, in grado di sfruttare l'energia cinetica o ponderale di una massa d'acqua. In quanto tali sono ascritti allo stato liquido, già dell'acqua;
– motori pneumatici, o ad aria, in grado di sfruttare l'energia cinetica del moto di una massa aeriforme, in genere vento. In quanto tali sono ascritti allo stato aeriforme, già dell'aria;
– motori termici, in grado di sfruttare l'energia data dall'innalzamento della temperatura di un corpo, per lo più fluido, mediante una somministrazione di calore dall'esterno. In quanto tali sono ascritti allo stato del plasma, nome dato ai fluidi luminosi ad altissime temperature, e già del fuoco.

I motori, quindi, fatta salva la suddetta precisazione, nell'antichità classica già esistevano ed erano di diversa tipologia, con varie connotazioni strutturali e funzionali. La vera e vistosa differenza con gli odierni, causa non ultima della mancata equiparazione, consiste nel non essere per lo più trasportabili o, per meglio dire, alimentabili con sorgenti trasportabili, quali ad esempio combustibili o batterie! Motori quindi intrinsecamente statici, non lontani perciò dal classico *motore immobile*!

Premesse e promesse

Vi è tuttavia una critica al riguardo che non si può né ignorare né minimizzare: la tecnica elaborata dapprima dai Greci, tra il IV ed il II secolo a.C., e perfezionata poi dai Romani e che tanto stupisce per la sua raffinatezza non ebbe, in realtà, mai un vero sviluppo pratico. Stando alla suddetta obiezione, in nessun momento e in nessun contesto fu mai niente di più, o di meglio, d'un semplice giocattolo: un bimbo senza dubbio molto intelligente, ma incapace di crescere! In definitiva si sarebbe trattato solo di eccezionali premesse prive di conseguenze pratiche, premesse destinate a restare tali per mancanza d'un indotto che avrebbe dovuto promuovere l'evoluzione tecnica complessiva.

La critica, però, a sua volta non è esente da altre critiche, in particolare da quelle ascrivibili all'incapacità di saper cogliere le soluzioni tecniche archetipali, anche in vesti diverse dalle peculiari successive, finendo così per negarne in età classica con l'evidenza anche l'esistenza. È il caso, tanto per fornire un esempio di eccezionale portata, della manovella, macchina elementare ascritta sempre all'età medioevale. Per i tecnici si tratta del dispositivo che consente la trasformazione del moto alternativo in rotatorio, quello che permette al motore della nostra auto di girare nonostante i pistoni facciano solo su e giù! I Romani non lo avrebbero conosciuto, dal momento che non ce ne hanno lasciato né una descrizione, né un'immagine. Il che è senza dubbio esatto, per quanti concepiscono l'antica manovella pressappoco identica all'attuale: tuttavia è possibile avere manovelle, tecnicamente ineccepibili, ma di connotazione molto diversa!

Difficile, ad esempio, riconoscerla nel disco di pietra munito di un foro centrale per il perno di rotazione e di uno periferico per la maniglia, rispettivamente il braccio e il bottone di una manovella, sia pure insita in un'arcaica macina a mano! Sostanzialmente simile anche la corona che azionava la pompa a bindolo di una delle navi di Nemi. Ancora più difficoltoso ravvisare nel mantice ricavato da due canne di bambù affiancate e munite di stantuffi, azionati alternativamente ad orecchio con entrambe le mani, un

Sopra: *Macina a mano con innesto manovella.*
In basso: *Mantice a doppio cilindro in uso presso tribù primitive.*

Sopra: *Il timone a barra in un bassorilievo di recente recupero.*
Sotto: *Bassorilievo rinvenuto a Treviri e raffigurante il* vallus*, la mietitrice dentata, in azione.*

compressore pneumatico bicilindrico! Poiché quel rozzo quanto ingegnoso dispositivo venne adottato persino dai fabbri romani per la sua resa, se ne deve ricavare implicitamente a loro carico un'indubbia capacità di discernimento tecnologico.

Discorso sostanzialmente analogo per la mietitrice a benna dentata, ricordata da Plinio e sistematicamente negata fino alla scoperta di un paio di sue raffigurazioni; come del timone a barra ritenuto inesistente in età romana e di recente ricomparso su di un bassorilievo; o ancora la balestra ritrovata su di una stele funebre. L'elenco potrebbe continuare a lungo essendo molti i casi simili, tutti comprovanti quanto delineato. Quanto al criterio che sia stata la sola convenienza a sancire l'affermazione di una invenzione non sembra una condizione sufficiente ma soltanto, nella migliore delle ipotesi, necessaria. Il criterio, infatti, legato a questioni di gestione economica in regime di scelte fra più opportunità, risulta di gran lunga più moderno. Pertanto l'adozione, se mai, andrebbe relazionata solo alla capacità di superamento di un limite ostativo, ovvero di rendere possibile ciò che fino a quel momento non lo era affatto. Il che lascia supporre una ottimizzazione accidentale e spesso non indispensabile in assoluto: quindi una tecnologia non omogenea, ma di punta o di *elité*. Connotazione che oltre a complicare notevolmente la ricerca giustifica, in parte, la nostra ignoranza circa i livelli più avanzati.

Un mito da sfatare

Capita che osservando le ricostruzioni di alcuni congegni, di alcune macchine o di alcuni dispositivi tecnologici romani si resti stupiti per la loro stringente somiglianza, formale o funzionale, con gli epigoni attuali impiegati per la medesima finalità. Classico il commento: *non abbiamo inventato nulla, gli antichi ci hanno preceduto in tutto*! In altre parole sembrerebbe sussistere una sorta di misconosciuta continuità d'uso fra le due realizzazioni, nota a pochi cultori della materia e da questi sfruttata, di tanto in tanto, a loro vantaggio: ragionamento non privo di fondamento, come in seguito vedremo. Per il resto, la supponente retorica sembra insistere nell'improbabilità di elaborare analoghe soluzioni complesse, in periodi diversi e in maniera autonoma una dall'altra: conclusione ineccepibile quando la rosa delle possibilità si conferma rilevante. Drasticamente opposta, invece, quando risulta limitatissima: banale prevedere, appena al terzo tiro d'una moneta, il ripetersi della testa o della croce! Pertanto il ricomparire a distanza di vari secoli, a volte persino di millenni, di un'invenzione o di un congegno non deriva necessariamente dalla continuità del loro ricordo o del loro uso ma, semplicemente, dall'essere una soluzione obbligata. Quanto Greci e Romani inventarono di notevole efficacia e spesso di originale e complessa funzionalità, quasi mai si confermò una premessa della nostra tecnologia ma, piuttosto la si reputò tale a posteriori!

Occorre, tuttavia, osservare che la perdita tecnologica provocata dal Medioevo costituisce senza dubbio una cesura del progresso, pur non essendo per niente scontato che lo sia stata in maniera assoluta. Né si può escludere che le suddette analogie e

L'uccisione di Ipazia, l'ultima direttrice della biblioteca di Alessandria, in una tela di Charles William Mitchell del 1885.

somiglianze tra alcune realizzazioni antiche e le corrispettive moderne abbiano un'altra e plausibilissima, spiegazione: la loro deduzione da antichi codici e manoscritti, sottratti o copiati dalla biblioteca di Alessandria. A parere di molti studiosi un gran numero di essi scampò allo scempio, le cui avvisaglie si erano già manifestate con l'uccisione di Ipazia, e finì tra le mani di cultori arabi e bizantini[59], che gelosamente li custodì e non di rado li copiò o li rielaborò lasciandocene conferma in diversi codici. Il sacco di Costantinopoli, perpetrato dai Crociati nel 1206, portò in Occidente molti di quei trattati; altri ancora, soprattutto arabi, pervennero con la *Reconquista* spagnola. Tanto il greco quanto l'arabo erano praticamente ignoti ai primi umanisti, a differenza dei disegni esplicativi di cui quei testi erano ricchi.[60] L'antica tecnologia iniziò così a filtrare per immagini, eloquenti e comprensibili anche per i tecnici analfabeti, diffondendosi di nuovo e riannodandosi perciò esattamente alla interruzione, dopo una pausa di oltre mille anni!

In ogni caso l'antica tecnologia alessandrina, a giusto titolo, può considerarsi una rivoluzione dimenticata e forse anche fraintesa. Più che una sterile promessa, una feconda premessa, un prologo eccezionale seguito da una lunghissima pausa, conclusasi e risoltasi nel Rinascimento. Per i coevi fu comunque una falsa partenza, un'occasione tragicamente sprecata. Interruzione che, oltre a comportare la necessità di dover ripercorrere un faticoso itinerario, ha prodotto l'abnorme protrarsi dell'abiezione della schiavitù, della riduzione dell'uomo a motore, con un corollario di atrocità e brutalità precipue del lavoro coatto.

Analogie e differenze

Prima di iniziare una ricerca sugli aspetti scientifici meno noti della tecnologia sia militare che civile romana, occorre fare una basilare considerazione. A differenza della tendenza attuale, frutto della rivoluzione industriale, nella quale i prodotti della tecnologia avanzata sono diretti ad una popolazione sempre più ampia, con una qualità tanto migliore ed un prezzo tanto minore, quanto maggiore ne è la produzione, dato che solo ampliando il mercato si consente la ricerca e se ne ammortizzano i costi (si potrebbe parlare di una diffusione orizzontale, come quella di un'alluvione, omogenea e globale), non così in età romana quando, pur esistendo un vasto ambito territoriale ben collegato e solidale, non si ebbe mai un vero mercato omogeneo e globale. Persino all'interno di una piccola città, i dislivelli appaiono vistosi tra una classe e l'altra, tra l'area urbana e il circondario agricolo. Pertanto degli apporti tecnologici ne beneficiò sempre una ristretta minoranza, di fatto isolata: in breve la diffusione della tecnologia nella società fu verticale e lacunosa, fatto salvo l'ambito militare. Tanto più che quasi sempre fu proprio la stessa istituzione a farsi carico della ricerca e della diffusione.

L'esercito romano, più ancora di quello di Alessandro, grazie alla durata della sua preminenza e alla capillarità della sua presenza, nell'evoluzione tecnologica assolse un ruolo primario. Non fu, infatti, soltanto l'unica entità in grado di comprenderne i suggerimenti e le realizzazioni in qualsiasi parte dell'Impero, ma anche l'unica a stimolarne nuovi usi e miglioramenti. Una sorta di colossale antenna in

59 Cfr. L. CANFORA, *La biblioteca scomparsa*, Palermo 2004, pp. 197-199.
60 Cfr. F. RUSSO, *Leonardo inventore?...*, cit., pp. 13-179.

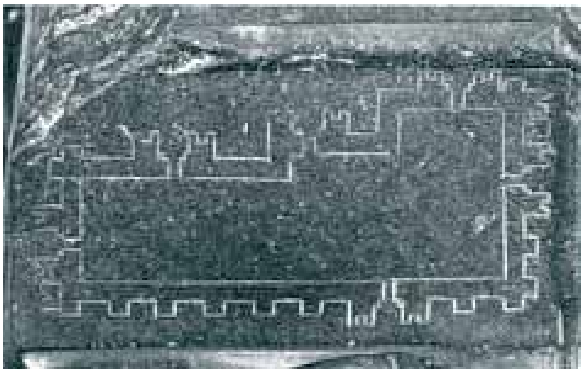
grado di raccogliere anche i segnali più deboli e confusi per rilanciarli, amplificati, in ogni direzione. Il che però non significa che dovunque vi fossero stazioni in grado di riceverli!

La particolare prassi, che inizialmente riguardò solo le armi, che i Romani si vantavano di saper apprezzare e copiare dai loro nemici, conobbe in seguito ampia adozione. Grecia, Egitto ed Anatolia furono tra i massimi ispiratori, da cui i tecnici legionari appresero conoscenze e procedure facilmente sfruttabili in contesti e per finalità similari, apportandovi utili modifiche ed efficaci adeguamenti che risolsero prontamente come, ad esempio, nel caso del mulino ad acqua o delle navi sottili. Una singolare gestazione, che ebbe positivi riscontri per la sua razionale natura militare, ma anche innegabili ed evidenti limiti non essendo immediatamente fruibile fuori da quel contesto su scala ampia e socialmente omogenea. Questa precisazione apparentemente marginale potrebbe spiegare la ragione del lento avanzamento complessivo della tecnologia nell'Impero, malgrado la sua rapida notorietà.

La mancanza di una rappresentazione tecnica

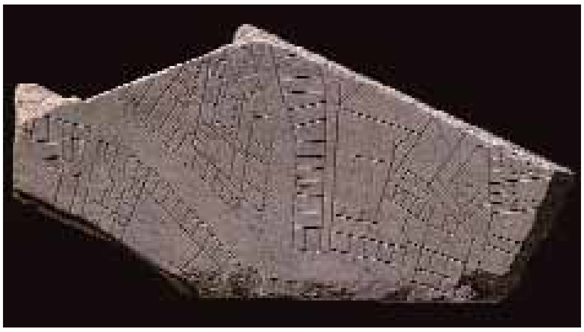
A rendere la diffusione delle idee più evolute aleatoria nell'intera comunità tecnica contribuiva una carenza, che per rilevanza va equiparata all'analfabetismo nella società umana. Sono note le planimetrie architettoniche sumeriche del tutto simili alle attuali, risalenti alla fine del III millennio a.C., tra cui emblematica per la sua modernità quella di un tempio in ogni suo dettaglio. Il disegno compare inciso in una della trentina di statue che raffigurano il governatore di Lagash Gudea, nel 2100 a.C., per l'esattezza su di una lastra posta sulle sue ginocchia, che nell'intenzione dell'artista voleva celebrare la volontà del sovrano di erigere quella particolare opera, in ogni dettaglio. La perfetta esecuzione e l'ottimo stato di conservazione della statua, in duro basalto, ci consentono di affermare che il criterio informatore è quello tipico di una pianta di un edificio, ovvero la sua sezione orizzontale, con l'esatta definizione degli spessori murari, dei contrafforti ed anche della configurazione dei vani, il tutto rigidamente in scala. Sotto questo aspetto risulta di gran lunga più evoluta delle planimetrie romane, delle quali peraltro ce ne sono pervenute ben poche.

È risaputo, comunque, che tanto i Greci quanto i Romani, pur disponendo di una rappresentazione grafica convenzionale di ciò che volevano costruire, basata sulle tre proiezioni ortogonali, non l'impiegarono come supporto di diffusione tecnica difettando chi sapesse esattamente comprenderla, dal momento che gli artigiani che avrebbero dovuto avvalersene spesso non sapevano neppure leggere![61] Si sa che: "*dalla metà del VI secolo a.C. in poi cominciano a circolare manuali che trattavano di agricoltura, architettura e poliorcetica*... [in quelli] *destinati*



La statua senza testa di Gudea, principe del Lagash, ca. 2141-2122 a.C. Sulle gambe della statua è presente la planimetria (in dettaglio sotto) di un tempio. Nella parte superiore della planimetria si scorge una barra graduata che offriva indicazioni circa la scala. L'opera è custodita presso il Museo del Louvre a Parigi.

61 Da G. DI PASQUALE, *Tecnologia e meccanica*..., cit., pp. 81 e sgg..



Due frammenti della Forma Urbis Severiana, pianta della città di Roma incisa su lastre di marmo e realizzata all'epoca di Settimio Severo agli inizi del III sec. d.C.. L'opera era collocata sulla facciata del Tempio della Pace.

ad architetti e costruttori di macchine il disegno gioca un ruolo primario: consci delle difficoltà di adoperare un linguaggio tecnico… gli autori di questi manuali ricorrono anche alla stesura di figure schematiche e al linguaggio dei segni per facilitare la comprensione da parte del proprio pubblico e soprattutto per usare le regole della geometria…"[62]

Ma quanti erano effettivamente in grado non solo di leggere quei trattati, e di comprendere quei grafici, ma di procurarseli, dovendosi supporre redatti in pochissime copie peraltro molto costose? E la convenzione grafica quando si sarebbe ratificata e come si sarebbe insegnata, prima che fosse di uso, se non comune, almeno ampio? Sappiamo che: "*la più celebre prova del ricorso al disegno in pianta e al modello secondo scale prestabilite deriva dallo spettacolare lavoro di ingegneria che Euripalo di Megera fece a Samo per la costruzione di un acquedotto che, dopo aver attraversato la montagna, doveva portare l'acqua alla città… all'interno della galleria…* [in] *una grande iscrizione dipinta… di oltre cinque metri… il disegno in scala, circa 1:50.*"[63] Ma che senso avrebbe avuto un disegno realizzato all'interno della struttura che rappresenta e per giunta su di una parete? Più che un disegno esecutivo sembrerebbe una lapide commemorativa!

Anche in ambito artistico nell'antichità le macchine si raffiguravano molto di rado e solo se ostentavano forme, in qualche modo, gradevoli. E, poiché l'ideale era comunque il corpo umano, solo rifacendosi ad esso quei congegni potevano sperare nell'onore della riproduzione. Emblematico il caso dell'iniettore a vapore, che venne realizzato per quasi un millennio e mezzo con la forma di una testa umana intenta a soffiare! Inconcepibile, vigendo tanta repulsione, ricercare la raffigurazione di macchine e, magari, i rispettivi dettagli: compaiono, infatti, rarissimamente e sommariamente solo sulle steli funebri, per ricordare l'attività del defunto.

Ciò premesso, il trasferimento dei progressi tecnici e dei nuovi congegni si realizzava esclusivamente tramite il trasferimento dei tecnici stessi e degli artigiani, cioè la migrazione della memoria e delle abilità costruttive. Emblematica, al riguardo, la soluzione adottata da Dionisio il Vecchio di convocare a Siracusa, dietro larghi compensi, quanti fossero in grado di progettare e approntare armi mai viste, di qualsiasi regione fossero. Un mondo tecnico senza raffigurazione grafica e senza una base matematica sembra, ai nostri occhi, un controsenso, un ostacolo allo sviluppo del progresso ed alla sua diffusione. E un aggravio lo fu senz'altro per l'espandersi del sapere materiale, ma, paradossalmente, minore di quanto siamo portati a credere, proprio per la sua accennata diffusione verticale ed elitaria.

Principio di sussidiarietà

Una situazione del genere, tuttavia, favoriva, si fa per dire, l'iniziativa privata ma non svolgeva un equivalente ruolo per quella pubblica, che presenta una seconda diversificazione rispetto all'attuale. Nel nostro contesto, la tecnologia impiegata per la funzione pubblica non differisce gran che da quella dei privati, se non per quantità. Una rete ferroviaria statale è l'ingrandimento di una ferrovia a scartamento ridotto impiegata in cantiere, o adibita al trasporto di persone e merci all'interno di un ampio complesso. Non di rado quest'ultima è anche più sofisticata della prima, sebbene di gran lunga più modesta. Non così nell'antichità, dove non si osserva alcuna corrispondenza fra pubblico e privato. Per restare ai trasporti, quelli pubblici mancavano quasi del tutto,

62 Da G. DI PASQUALE, *Tecnologia…*, cit., p. 78 e sgg..
63 *Ibid.*

al punto che un viaggio per mare dal Nordafrica all'Italia poteva compiersi, non di rado, sulle navi militari a discrezione del loro comandante. Ed ancora la rete di distribuzione dell'acqua, all'interno di una odierna villa con varie dipendenze, può ritenersi una miniatura della rete di distribuzione pubblica, alle diverse utenze. Non così nelle città romane poiché, pur avendosi le seconde, non si aveva la prima al di là di una fornitura discrezionale e temporanea.

Il discorso può estendersi ad altri casi, ad esempio l'illuminazione notturna delle città, ben dotata nelle residenze private e praticamente inesistente nelle strade pubbliche; ed ancora il servizio postale efficiente per lo Stato e indisponibile per i privati; e così pure la sanità, forte di razionali e capaci ospedali militari, ma del tutto assente per i civili. Si è di fronte, a ben guardare, a una concezione sociale che disdegna la duplicazione delle funzioni, applicazione rigida e, a volte anche ottusa, del principio della sussidiarietà dei servizi e delle funzioni. Pertanto ne deriva che la conoscenza di una particolare soluzione tecnica non significa affatto, né automaticamente, la sua utilizzazione corrente. Volendo ancora esemplificare, la disponibilità di ottime chiavi d'arresto per l'acqua non significa, implicitamente, che vi fosse l'acqua corrente in ogni casa e neppure nella maggioranza delle abitazioni, ma soltanto che tale eventualità sarebbe stata tecnicamente possibile! Certamente si conobbero e si realizzarono, come vedremo, dei miscelatori di bronzo monocomando per ottenere acqua alla temperatura desiderata in ambito domestico, ma restarono sempre pochi quelli che disponevano dell'acqua corrente. Ulteriore conferma, anche questa, della ribadita diffusione elitaria della tecnologia.

Da quanto delineato consegue che la ricerca deve considerarsi, sotto molteplici aspetti, un'indagine sulle potenzialità mancate, sulle opportunità non sfruttate o appena sfruttate e poi dimenticate nei secoli successivi, sebbene tecnicamente esatte e fisicamente vantaggiose, piuttosto che un vero trattato sulla tecnologia meccanica dei Romani, che per larga massima ci è ignota. Il che non minimizza affatto il ruolo da esse sostenuto per periodi di tempo più o meno ampi. Se ne rimarca, se mai, che nonostante il loro ottimo riscontro, non divennero patrimonio culturale acquisito e per l'eccessiva arretratezza del contesto sociale e per la sua ancora maggiore disomogeneità. Questa mancata domanda di base fu, perciò, la causa e l'effetto di quel mancato sviluppo. Non dovendosi provvedere ad una realizzazione seriale di un determinato bene, non se ne studiò mai l'ottimizzazione produttiva, ovvero il modo più rapido ed economico per realizzarlo. Ciononostante gli oggetti pervenutici appaiono, in genere, ben studiati e dimensionati in relazione all'impiego, a volte persino troppo sotto il profilo economico. Mancò la consapevolezza che sarebbe stato più conveniente ridurne le difficoltà di costruzione al fine di contenerne i costi, per incrementarne la diffusione. La finitura di una chiave d'arresto di bronzo al tornio ed all'alesatrice, ad esempio, si sarebbe facilmente potuta eseguire con modalità più dozzinali e spedite, garantendo comunque un'ottima qualità al prodotto. La sua validità sarebbe stata appena decurtata e il suo prezzo fortemente abbattuto. Ma, essendo la chiave d'arresto un articolo riservato alla modesta compagine dei ricchi possidenti, i soli che avevano l'acqua corrente, o alle esigenze pubbliche, il suo alto costo non fu mai un fattore ostativo al suo impiego. Per intenderci, il famoso cane che si morde la coda, dal momento che la scarsità del mercato non stimola a sua volta l'incremento di produzione, per cui la tecnologia quand'anche disponibile resta di nicchia, persino nelle potenzialità ed estrinsecazioni più elementari. Una maggiore flessibilità della produzione si ebbe solo nel tempo e in seguito a mutazioni molto ampie dei costumi e della società.

Ambiti d'indagine

Come accennato, l'ambito storico della ricerca si colloca all'interno dell'epoca imperiale, in particolare nei primi due secoli della nostra era: un contesto estremamente propizio per la civiltà, un intervallo di pace e di prosperità, garantito da una rara parentesi di stabilità politico-militare. In quello stesso periodo i confini dell'Impero avevano attinto, se non la massima espansione territoriale, il massimo inglobamento dell'etnie civilizzate e civilizzabili e, forse, il loro massimo consenso. Ne derivarono conoscenze ed esperienze di straordinaria portata e non solamente di matrice ellenistica. Basti al riguardo ricordare l'acquisizione della siderurgia celtica, che permise di produrre, sia pure in modeste quantità, acciaio di qualità mai conosciuta prima. Né va poi sottovalutata l'influenza degli scambi con l'Oriente, consentiti dallo sbocco sull'oceano Indiano tramite quella sorta di canale di Suez, ricavato secoli prima nell'intrico delle diramazioni del delta Nilo, che permetteva alle navi di passare dal Mediterraneo al mar Rosso. Una variante marittima della via della seta, con tutte le intuibili implicanze culturali: forse così nozioni già pienamente sperimentate in Cina pervennero in Occidente e, magari, anche assimilate. In ogni caso si trattò di un flusso di idee e di merci che

Statuetta indiana della dea Laksmi rinvenuta a Pompei confrontata con una raffigurazione del X secolo.

iniziò a giungere nell'area romana, come testimonia qualche statuetta indiana trovata a Pompei. Né mancano gli esempi di osmosi inversa, che s'intravedono in alcune invenzioni cinesi di evidentissima ispirazione ellenistica, come, ad esempio, delle raffigurazioni che tramandano delle rudimentali catapulte, evidenti semplificazioni delle coeve occidentali, piuttosto che armi autoctone in fase di perfezionamento.

Scorrendo le pagine che seguono non mancherà di stupire la constatazione della estrema esiguità numerica dei personaggi connessi con le numerose invenzioni e scoperte. A voler essere generosi non ecce- dono la dozzina ed ostentano, in maggioranza, rinomanza e celebrità solo nell'ambito della scienza pura, quasi che si vergognassero di quella applicata o della stessa tecnica. La realtà anche in questo caso è ben diversa: certamente si incontrano i nomi di Pitagora, di Archita, di Ctesibio, di Erone, di Archimede; tuttavia ad una più accurata indagine, mentre risulta innegabile il loro coinvolgimento nella tecnica, lo è molto meno quello nella scienza, confermandosi molte delle attribuzioni non corrette né meritate. Il mitico teorema di Pitagora esisteva già da millenni prima che gli fosse attribuito, magari esposto in forma embrionale, ma di sicuro fu correntemente utilizzato dagli Egiziani nella costruzione delle piramidi. Stesso discorso per la cosiddetta *vite di Archimede*, usata lungo il Nilo almeno un migliaio di anni prima del celebre siracusano.

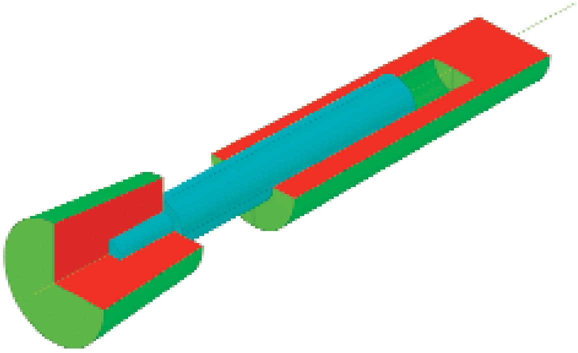
Fatta questa premessa, che amplia in un certo senso il numero dei tecnici sia pure anonimi, la domanda è ancora più stringente: è mai possibile che tanti uomini debbano tanta riconoscenza a tanti pochi? E da questa una seconda: è forse plausibile dal punto di vista storico che a promuovere l'avanzamento della tecnologia e della scienza furono solo quelli? Una sparuta compagine, un pugno di menti superiori e perspicaci, immerse in una società praticamente estranea alle loro elaborazioni, salvo che per sfruttarle? Nulla di più gratuito quando si inizi a scandagliare la vita quotidiana e le tradizionali risorse. Senza una premessa del genere si rischia quanto già accaduto con Leonardo: gli si attribuisce per troppa superficialità l'invenzione di tutto, perché nulla si sa dei tecnici a lui antecedenti e contemporanei! Nella fattispecie i nomi in questione devono immaginarsi piuttosto come dei maestri o, per meglio dire, dei capiscuola, vertici culturali ai quali venivano ascritti i risultati delle ricerche nelle quali a vario titolo erano coinvolti, magari, soltanto per averle ripetute. Quanti studiosi formassero però il gruppo di ricerca, e quanti gruppi operassero più o meno contemporaneamente ma in settori diversi, non siamo in grado di appurarlo.

In vari casi, poi, quei personaggi furono degli zelanti raccoglitori ed analizzatori delle tecnologie già usate, della realtà scientifica già esistente: forse le migliorarono e perfezionarono, forse si limitarono solamente a divulgarle. Una seconda spiegazione della mitizzazione storica deriva dal vasto repertorio d'invenzioni che si attribuiscono ad un unico personaggio, finendo per trasformarlo in fenomeno paranor- male. È senza dubbio esatto attribuire a Ctesibio l'organo ad acqua, la pompa idraulica a doppio effetto, il sifone a stantuffo, la balista pneumatica e persino la siringa medica, in pratica un'ampia gamma di congegni. Ad una più ponderata riflessione, però, non sfugge che l'invenzione fu in realtà soltanto una: il cilindro munito di stantuffo! Tutte la altre furono delle semplici derivazioni o mere applicazioni, molte delle quali elaborate anche successivamente ed a lui attribuite in quanto ideatore della componente principale. A voler come al solito esemplificare, la penna stilografica, l'ammortizzatore telescopico per gli autoveicoli, lo spruzzatore dell'insetticida, gli attuatori idraulici dei cancelli, i cilindri oleodinamici delle macchine per il movimento terra, i freni idraulici, gli ascensori e persino il motore a scoppio, a vapore e Diesel, tanto per citarne una minima parte, sono

ancora altre applicazioni della medesima remota invenzione del figlio del barbiere di Alessandria, anche se nessuno più lo ricorda.

Ctesibio è scomparso da millenni e non gli accreditiamo più queste invenzioni poiché altri, a giusta ragione, ne rivendicano le singole paternità. L'idea di fondo, però, è immutata per cui, secondo gli antichi, sarebbe doveroso ribadirne il nome. Se volessimo poi scandagliare ulteriormente, e più attentamente, l'età di Ctesibio ci renderemmo subito conto che il famoso cilindro con stantuffo già esisteva, forse in maniera rudimentale ed imprecisa, ma sicuramente tale per movimento e funzione. Magari era un fusto di bambù in cui veniva spinto un bastone cilindrico, più piccolo e munito di una rozza guarnizione per compensare le differenze fra i due diametri, in modo da farne uscire da un piccolo foro in basso l'aria ed, almeno in un caso, anche senza. Di un congegno siffatto, ad esempio, etnie che ancora indugiano all'età della pietra ed assolutamente isolate dal nostro contesto continuano a servirsene persino come acciarino.

L'ingegnoso utensile, definito *pompa da fuoco*, permette di accendere un'esca, fissata al suo piccolo



Sopra: *L'acciarino pneumatico, pompa da fuoco, in uso presso alcune tribù primitive (sopra) ed il suo spaccato (sotto).*
A fianco, sopra: *Una moderna macchina per il movimento terra dotata di attuatori oleodinamici.*
A fianco, sotto: *Un'irroratrice manuale per insetticida.*

stantuffo, mediante il riscaldamento dell'aria compressa, in perfetta aderenza alla prima legge della termodinamica, che ovviamente i remoti inventori neppure lontanamente potevano immaginare! Ancora una volta da una singola idea innumerevoli applicazioni: che cosa inventò allora in concreto Ctesibio? O, per meglio dire, che cosa migliorò Ctesibio e quanti a lui s'ispirarono in tempi successivi?

Discorso del tutto simile può essere fatto circa la vite, attribuita ad Archita e poi ad Archimede: forse due varianti distinte di un'unica idea, invenzione solo in apparenza oscura e umile specie se la si guarda come organo di giuntaggio. In realtà la vite, già per gli antichi, fu innanzitutto un sistema di trasmissione cinematica, poi, come ricordato, un congegno di sollevamento dei liquidi, quindi un amplificatore di sforzo. In seguito da essa derivarono tutte le innumerevoli tipologie di perni destinati all'assemblaggio, i rotismi a vite senza fine, le eliche aeree e marine, le ventole, ed ancora le trivelle, i trasportatori a coclea, il martinetto – più noto come crik – e persino il cavatappi!

Grande invenzione ma non certo originale, in quanto da sempre presente in natura e ben in vista:

Sopra: *Coclea per il sollevamento di scarichi fangosi.*
Sotto: *Un cavatappi per uso domestico.*

elica deriva dal greco *eliké*, lumaca! Fu, forse, il guscio di un gasteropode pieno d'acqua, che doveva essere fatto ruotare per svuotarsi, a suggerire ad un remoto *fellah* qualcosa di simile per irrigare il suo fazzoletto di terra. Archita la studiò, ma Archimede, di tutti il più celebre, ne divenne l'ideatore per antonomasia, legandola al suo nome. Paternità putative in definitiva! I nomi, perciò, che di volta in volta verranno menzionati, non sono quelli di improbabili geni isolati da cui scaturì la tecnologica, ma i pochi scampati all'oblio rispetto ai tanti che si occuparono di portare innanzi, passo dopo passo, la conoscenza scientifica pura e applicata. L'avanzamento in conclusione non deve immaginarsi per scatti improvvisi di cervelli singolari: non è mai esistito nella storia della umanità un unico genio, inventore di tutto, ma una sterminata teoria di artigiani e di ingegneri, di filosofi e di scienziati, di perfezionatori e di sperimentatori testardi che, non fermati dalle innumerevoli sconfitte ma esaltati dai rari successi, hanno costruito, giorno dopo giorno, la nostra odierna comoda realtà. E continuano a farlo con il medesimo entusiasmo.

Convenzioni grafiche

Le pagine che seguono sono necessariamente corredate di numerosi disegni, alcuni dei quali espressi con una tecnica tendente all'effetto fotografico, per esaltarne la migliore comprensibilità anche in lettori di estrazione umanistica. Tuttavia, la rappresentazione grafica di macchine e di congegni antichi, per evitare di cadere nel soggettivismo d'un disegno di maniera simile in ultima analisi ad una raffigurazione artistica, non può esimersi dalle odierne convenzioni grafiche del disegno tecnico, quali rapporti di scala ed assi di proiezioni. Queste, però, suppongono a loro volta modalità costruttive per quanto rappresentato, di gran lunga diverse da quelle utilizzate nel passato. Qualsiasi pezzo meccanico di metallo, qualsiasi asse di legno o parte di plastica hanno in comune, ed è facile verificarlo, delle linee di contorno precise e corrette, senza approssimazioni o incertezze. Il perché deriva dall'essere eseguite mediante macchine utensili di grande precisione, funzionanti secondo cicli perfettamente ripetitivi, oggi a controllo numerico, dai quali possono uscire soltanto pezzi assolutamente standardizzati. Non è un caso che quando si è voluto ottenere qualcosa di diverso e di volutamente meno preciso, paradossalmente, il suo prezzo si è dimostrato molto più alto: è il ben noto *fatto a mano*, *prodotto artigianalmente, secondo le antiche lavorazioni.*

A ben vedere è proprio nell'assoluta disomogeneità formale di ciascun pezzo, la principale differenza fra la produzione artigianale autentica e quella industriale. Un pezzo per essere di matrice umana deve apparire, sia pur di poco, sempre diverso dai similari. Si sono addirittura inventate delle macchine che, variando di poco e casualmente la lavorazione, imitano tale diversità, fornendo una meccanica manualità, un'anacronistica produzione seriale di elementi singolari! Ovviamente pezzi sistematicamente diversi fra loro, pur in un ambito di tolleranze ristrette, non possono essere disegnati come tali ma soltanto come se fossero esattamente definiti. In pratica si assume come linea di contorno il loro ingombro massimo, il poligono o il solido regolare di iscrizione. Sempre per esemplificare, un autoveicolo avrà a livello formale una perfetta simmetria fra parte destra e sinistra, con le relative ruote identiche fra loro. Questa che per noi è una condizione tassativa ed ovvia, spesso imprescindibile per il funzionamento del congegno, non trova alcun riscontro nel passato anche prossimo. Un carretto o una carrozza non avevano tanta simmetria e le loro ruote non erano affatto identiche, né per forma né per diametro, ma solo approssimativamente uguali. Le superfici non erano affatto piane ma soltanto all'incirca piane, limite e tendenza che iniziò a tramontare sul finire del XIX secolo.

Per i Greci prima e per i Romani poi tanta identità formale non esisteva e non era neppure immaginabile. Una loro ruota dentata, aveva ciascun dente, peraltro triangolare, diverso dall'altro e soltanto la grande tolleranza complessiva permetteva il funzionamento del congegno. In conclusione ogni produzione meccanica antica, da intendersi nella più ampia accezione etimologica, ricorda molto da vicino le realizzazioni della natura, per la quale non esistono in una foresta due foglie uguali fra loro ma soltanto simili, come pure due granelli di sabbia uguali in un intero deserto. È la condizione che ci consente di riconoscere tra la folla un volto noto o di identificare in biologia, in botanica e, persino, in mineralogia, l'appartenenza di singole entità a dei precisi gruppi. Analogie formali ma mai identità, fattore certamente non secondario della bellezza dell'universo.

Le macchine antiche, quindi, avevano delle tolleranze non soltanto maggiori delle attuali ma soprattutto imprevedibili e casuali, oscillanti entro ambiti compatibili con il loro funzionamento a scapito del rendimento e della durata. Il che in una economia embrionale non costituiva un grave problema. Il problema, se mai, è nostro quando dobbiamo disegnare tali macchine, dal momento che non possiamo renderle nella loro imprecisione e, al contempo, appare anacronistica l'attuale precisione. L'unica soluzione potrebbe essere quella accennata di disegnare meno rigidamente, come si fa a mano libera, ma otterremmo di nuovo un'immagine artistica e soggettiva. Pertanto, non potendosi aderire all'antica costruzione, i grafici di seguito allegati hanno per mera convenzione la definizione ed i connotati degli attuali disegni tecnici, ma sono rivestiti con i materiali originali e con la lucentezza e la colorazione che, naturalmente, dovevano avere a lavorazione ultimata. Vanno perciò considerati come il vertice ideale al quale la tecnica antica puntava, ma che in nessun caso mai potè raggiungere. Un po' come le geometriche gabbie di cristallo al cui interno si colloca il reperto originale, la cui precaria consistenza non ne consente l'autonomia statica, e se ne discosta ove più ove meno, ma sempre di pochissimo. Pertanto le tolleranze più ampie che nel moderno disegno di progetto non trovano giustificazione, essendo precipue per l'epoca in esame, implicano che se ne tenga debito conto pur nella modernità della grafica. Ne deriva un'immagine ibrida che, tuttavia, descrive bene l'originale, come alcuni recenti ritrovamenti di eccezionale stato di conservazione confermano. Conferma, ribadita anche dalle ricostruzioni in grandezza naturale e coi materiali e le lavorazioni tecniche assolutamente fedeli alla coeva realtà.

È, in ultima analisi, la variante grafica della medesima convenzione adottata per la traduzione delle lingue morte, che necessariamente tende, più che a rendere alla lettera il discorso antico, a rispettarne lo spirito del suo ragionamento, utilizzando anche termini ed espressioni più moderne.

I quattro elementi classici

Come già accennato, la ricerca adotta la suddivisione degli elementi di epoca classica, attualizzandola come stati di aggregazione della materia. La trattazione, pertanto, è su quattro parti, con la convenzione che rientrerà in ciascuna di esse, non quanto strettamente attinente alla terra, all'acqua, all'aria e al fuoco ma allo stato solido, liquido, aeriforme o del plasma. Ovvero, quanto in maniera preminente serviva od operava in ambito solido, liquido, gassoso o termico, o ancora si avvaleva per funzionare di un supporto solido, liquido, gassoso o termico. Fermo restando, ovviamente, che molti congegni usati sulla terra implicano tassativamente l'impiego di liquidi, vuoi come carburante o come fluido di raffreddamento,

ecc., e che nessun congegno esiste al puro stato liquido, aeriforme e meno che mai del plasma!

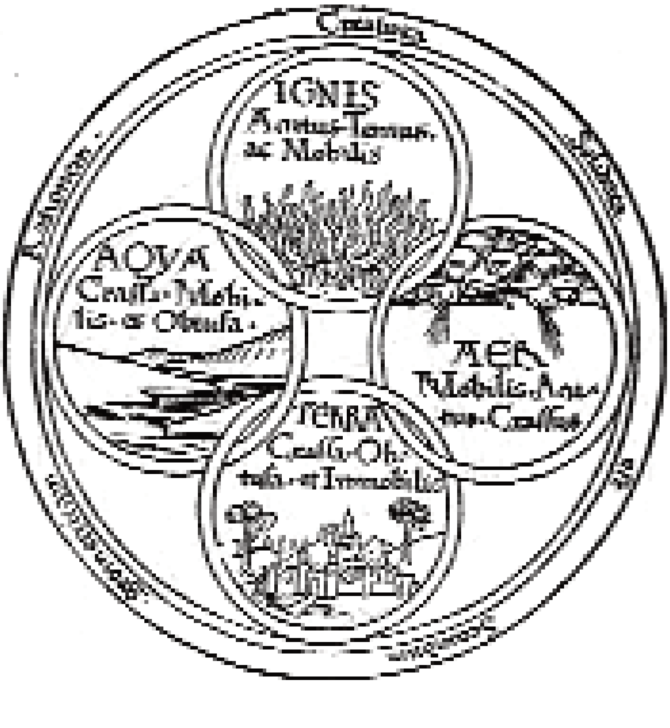
► Parte prima → Terra → Stato solido
► Parte seconda → Acqua → Stato liquido
► Parte terza → Aria → Stato aeriforme
► Parte quarta → Fuoco → Stato del plasma

È indispensabile anteporre alla trattazione per schede alcune considerazioni. La prima è che, ovviamente, non può essere esposta l'intera esemplificazione di tutta la tecnologia inerente allo stato solido utilizzata dai Romani anche solo in ambito militare. Non la conosciamo nella sua interezza e, comunque, anche quella nota risulterebbe assolutamente eccedente lo spirito della ricerca. Il criterio seguito è stato quindi di operare una selezione, favorendo quella meno nota e dalla quale sono derivate più applicazioni protrattesi fino ai giorni nostri, in tutto o in parte, sempre però di straordinaria rilevanza tecnologica. Per volere esemplificare, pur essendo le strade romane una delle più importanti infrastrutture militari della storia, per la loro notorietà si è preferito trascurarle ed esporre, in loro vece, gli strumenti topografici che le resero possibili, insieme agli acquedotti e all'urbanistica. Così pure per le macchine destinate al sollevamento dei carichi, che sostanzialmente restarono immutate fino all'avvento del motore a vapore: al loro posto, fatto salva un breve accenno alle gru, si è descritto il paranco a più pulegge, ancora in uso in vastissimi campi di impiego. Discorso analogo a quello delle serrature e dei lucchetti, onnipresenti presso ogni nostro contesto esistenziale.

Il criterio adottato, pertanto, pur evidenziando qualche singolarità tecnologica lo fa soltanto quando la stessa nel nostro presente riveste particolare interesse, o dimostra di essere stata prodromica per successivi importanti esiti. Il cosiddetto *calcolatore di Antikythera*, ad esempio, non ha alcun equivalente in età classica, come pure in epoche successive: dimostra, tuttavia, che l'idea di un rotismo differenziale, oggi diffuso in ogni possibile variante anche in un qualsiasi autoveicolo, era già correttamente formulata ed attuata. Come pure la lettura analogica su scale graduate concentriche mediante apposite lancette.

Un'ultima precisazione, infine, è relativa alla ragione delle scelte tipologiche degli oggetti e delle tecniche trattate. Il criterio prevede per ognuno una fonte letteraria che lo menzioni, una fonte iconografica che in qualche modo ne tramandi l'immagine, e un qualsiasi reperto archeologico che ne certifichi materialmente la concreta esistenza. In pratica tre livelli concomitanti di conferme e di riscontri, ridotti a due solo quando la notorietà straordinaria o per contro l'assoluta dimenticanza lo giustifichino, per evitare la fin troppo facile e deleteria caduta nella fantarcheologia.

Sotto: Una rappresentazione classica dei quattro elementi.



Parte Prima

TERRA

Stato Solido

Militaria mirabilia

La rampa di Masada

"Un massiccio roccioso di non piccola circonferenza e di notevole altezza è circondato tutt'intorno da profondi strapiombi, che emergono a picco da un precipizio irraggiungibile dalla vista e che nessun essere vivente potrebbe scalare…

Dopo aver circondato tutto il luogo con una linea di circonvallazione, e messi in atto, come dicevamo, i più minuziosi accorgimenti per impedire che alcuno potesse sfuggire, il comandante romano diede inizio alle operazioni di assedio nell'unico luogo che aveva trovato idoneo all'elevazione di un terrapieno. Alle spalle della torre che dominava la pista che ad occidente s'inerpicava verso la reggia e la sommità, s'ergeva una grossa prominenza rocciosa di notevole larghezza e molto sviluppata in altezza, che però restava trecento cubiti più in basso di Masada; si chiamava Bianca. Silva vi salì a prenderne possesso e ordinò all'esercito di costruirvi sopra un terrapieno. I soldati si misero all'opera con grande ardore e in gran numero, ed elevarono un solido terrapieno dell'altezza di duecento cubiti. Questo non venne però giudicato abbastanza stabile e alto per piazzarvi le macchine, e pertanto vi fu costruita sopra una piattaforma di grossi blocchi congiunti insieme, che aveva l'altezza e la larghezza di cinquanta cubiti. Per il resto le macchine furono costruite a imitazione di quelle fatte fare da Vespasiano e poi da Tito per i loro assedi, e inoltre venne fabbricata una torre di sessanta cubiti tutta ricoperta di ferro, dall'alto della quale i romani, tirando con un gran numero di catapulte e baliste, ben presto fecero piazza pulita dei difensori delle mura impedendo a chiunque di affacciarvisi. Nello stesso tempo Silva, che aveva costruito anche un grosso ariete, diede ordine di battere continuamente il muro e alla fine, sia pure dopo molti sforzi, riuscì ad aprire una breccia e a farlo rovinare…".

Da FLAVIO GIUSEPPE, *La guerra giudaica*, lib.VII, 8, 3. Traduzione a cura di G.Vitucci.

Veduta aerea della fortezza di Masada e della rampa costruita dai legionari di Flavio Silva, vista dalla base e dalla sommità.

Le strade delle legioni

"Qui la prima fatica fu quella di tracciare i solchi, disfare i sentieri e scavare il suolo con uno scasso del terreno assai profondo; poi riempire gli scavi con altro materiale e approntare la base per lo strato superiore della pavimentazione, perché non avvenissero cedimenti del suolo e un fondo malsicuro non offrisse una base vacillante alla massa pietrosa sovrapposta. Poi la seconda fatica fu quella di stringere ai margini la carreggiata, da una parte e dall'altra, con blocchi di pietra e fissarla con numerosi paracarri. Oh quante braccia insieme vi lavorano! Questi abbattono gli alberi e spogliano le montagne, questi col ferro spianano le sporgenze delle rocce e piallano il legname, quelli dispongono le pietre in modo da farle aderire tra loro e rinsaldano l'opera con calce e pozzolana; questi prosciugano con le mani gli spazi vuoti imbevuti d'acqua e la spingono lontano in piccoli rivi."

Da STAZIO, *Silvae*, IV, 3, 40 ss. Traduzione dell'Autore.

Scorci di strade romane.

Parte Prima: Terra → Stato Solido

1. La Città disegnata

1.1 L'urbanistica ippodamea

Ippodamo da Mileto[1], architetto greco vissuto intorno al V secolo a.C., fu il teorizzatore dell'impianto urbanistico a *griglia*, formato per lo più da tre assi stradali paralleli correnti in direzione est-ovest, definiti in greco *plateiai* ed in latino *decumani*, tagliati ortogonalmente da un numero maggiore di assi stradali sempre paralleli e correnti da nord a sud, in greco *stenopoi* e in latino *cardi.* La loro intersezione dava origine a delle superfici rettangolari allungate, dette a loro volta *insulae*, destinate ai fabbricati pubblici e privati. Il criterio era l'inverso di quanto fino ad allora adottato: le strade non scaturivano più dalla distanza lasciata discrezionalmente fra due case ma erano, invece, quest'ultime a dover rispettare la larghezza già programmata delle strade, a volte costruite persino molto prima delle case, per cui si potrebbe parlare di un antesignano *piano regolatore*, che per molti aspetti aveva vistose conseguenze anche di tipo sociale. Stando ad Aristotele, infatti: "*Ippodamo di Eurifonte nativo di Mileto... fu il primo che senza aver mai avuto pratica nei pubblici affari ardì formulare una teoria sulla migliore forma di governo. Egli immagina una città di diecimila cittadini, divisa in tre classi, l'una composta di artigiani, l'altra di agricoltori, la terza di armati, difensori della patria: il territorio di essa dovrebbe essere, secondo lui, diviso in tre parti, una consacrata alla divinità, l'altra pubblica, la terza riservata alle proprietà individuali...*"[2]

Lo schema certamente ottimo sotto l'aspetto residenziale provocava, però, uno scadimento delle potenzialità difensive dell'intera città, proprio per la sua regolarità e prevedibilità. Continuava, perciò, Aristotele precisando al riguardo che: "*la disposizione delle case private è... più gradevole e più funzionale sotto qualsiasi aspetto allorquando è regolare e conforme allo stile moderno, quello di Ippodamo, ma, per assicurare protezione in tempo di guerra, si deve preferire lo stile contrario, impiegato nei tempi antichi, che rende difficile alle truppe straniere di penetrare nella città, come pure agli assalitori di trovarvi un loro percorso. Pertanto è bene combinare le due maniere... ed evitare di assoggettare l'intera città ad un piano regolare, limitandolo soltanto a certi settori ed a certi quartieri.*"[3]

Foto aerea zenitale dell'area archeologica di Timgad, in Algeria. Può essere considerata un esempio perfetto di applicazione dei canoni urbanistici ippodamei.

1 Cfr. P. G. GUZZO, *Le città scomparse della Magna Grecia*, Perugia 1982, pp.16-17.

2 Da A. GIULIANO, *Urbanistica delle città greche*, in *Guida allo studio dell'architettura antica*, Napoli 1978, p.163.

3 La citazione è tratta da Y. GARLAN, *Recherches de poliorcétique grecque*, Parigi 1974, p. 88. La traduzione è dell'A.

Anche Alessandria d'Egitto, come Atene, Taranto, Napoli e tante altre metropoli ancora, in Grecia, nella Magna Grecia e quindi nell'Impero romano furono impiantate, in tutto o in parte, secondo tale schema, il cui presupposto implicito ed indispensabile era una buona conoscenza della geometria e dei relativi elementari strumenti topografici. La prevedibilità dell'impianto urbanistico ippodameo, vista negativamente per la difesa delle città, offriva, paradossalmente, dei vantaggi proprio in ambito militare tant'è che, più o meno consciamente, fu adottato per l'accampamento romano. Ovviamente non si trattava di apporti tattici ma psicologici. Al suo interno, infatti, il legionario si sentiva al sicuro, per cui riusciva a dormire tranquillo e quindi a riposarsi proficuamente. Soprattutto, però, essendo il campo sempre realizzato con la medesima pianta, estremamente regolare e semplice, in qualsiasi circostanza tutti sapevano perfettamente orientarsi e muoversi al suo interno, secondo i precisi compiti ricevuti, o gli ordini impartiti.[4]

1.2 L'accampamento legionario

Fra le realizzazioni più importanti dei Romani, come appena accennato, non fosse altro che per le cospicue conseguenze tattiche ed urbanistiche, spicca l'accampamento legionario. Per gli studiosi dell'arte militare fu una sorta di fortificazione mobile, una base ambulante ed un originale impianto residenziale.[5] Per gli studiosi del settore, infatti, il suo schema, che si riscontra al centro di molte città europee, ne fu la loro indiscutibile premessa. Nonostante ciò, se ne ignora non solo l'origine ma anche l'esatta collocazione cronologica della sua adozione, avvenuta forse nel IV secolo a.C. nel contesto delle guerre italiche.[6] Plausibile, tuttavia, reputarlo una reminiscenza d'età preistorica, in particolare dei villaggi trincerati dauni[7], magari rielaborati sulla falsariga dell'impianto urbanistico ippodameo, di cui rispecchia senza dubbio i criteri più evidenti.

4 Cfr. E. N. LUTTWAK, *La grande strategia dell'impero romano, dal I al III secolo d.C.*, Milano 1981, pp. 82-83. Circa le affinità tra l'urbanistica ippodamea e l'accampamento romano cfr. G. CULTERRA, *Architettura ippodamea, contributo alla storia dell'edilizia nell'antichità*, Roma 1924, pp. 477- 495.

5 Cfr. AA.VV., *Les enceintes augustésnnes dans l'occident romani (France, Italie, Espagne, Afrique du Nord)*, Atti del Colloquio internazionale di Nimes, 9-12 ottobre 1985, pubblicati nel Bollettino n° 18 dell'Ecole Antique de Nimes, 1987.

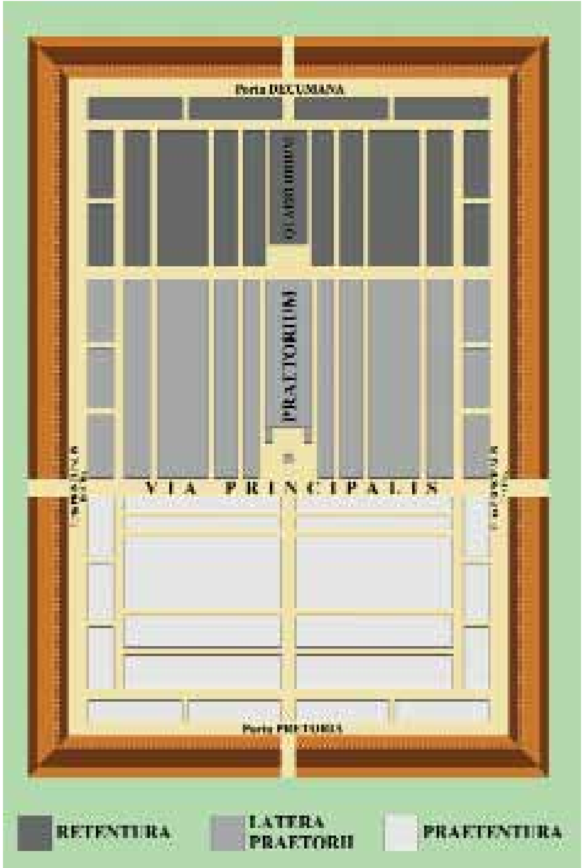
6 Cfr. Y. GARLAN, *Guerra e società nel mondo antico*, Bologna 1983, pp. 221-223.

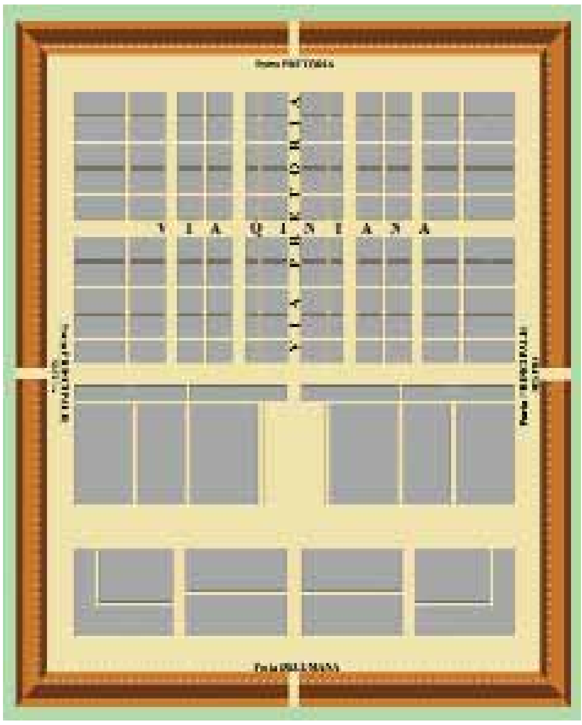
7 Cfr. F. RUSSO, *Indagine sulle Forche Caudine. Immutabilità dei principi dell'arte militare*, Roma 2006, pp. 77- 85.

Sotto: *Foto aerea delle tracce di un villaggio trincerato dauno.*
In basso: *Ricostruzione grafica degli stessi, sulla base degli scavi archeologici compiuti.*

Sue descrizioni attendibili e particolareggiate ci sono state tramandate da vari storici, tra i quali Polibio, Flavio Giuseppe e Igino. I rispettivi schemi, sebbene separati da un ampio arco cronologico e pur non essendo del tutto identici, sono in sostanza simili, dimostrando così la persistenza di tale realizzazione. Sotto il profilo geometrico, il campo legionario si riduceva ad un perimetro rettangolare a spigoli smussati: vantava, però, numerose varianti e tipologie, ciascuna adattata ad una precisa fruizione e ad un preciso contesto operativo. Per grandi linee si possono distinguere:

- accampamenti di tappa, *stationes,* campi di tappa notturni;
- accampamenti da operazioni, *castra aestiva;*
- quartieri d'inverno, *hiberna;*
- accampamenti strategici, *presidia,* basi per le campagne;
- accampamenti frontalieri, *stativa,* basi permanenti lungo i *limes*;
- accampamenti costieri, *castra navalia*, costruiti dopo uno sbarco, capaci di accogliere anche le navi tirate in secco.





A fianco, sopra: *Foto aerea dei resti di un campo legionario a Masada, costruito durante la guerra Giudaica intorno al 70 d.C..*
A fianco, sotto: *Il forte romano di Shield, Gran Bretagna.*
In alto: *Schema di campo di epoca arcaica.*
Sopra: *Schema di campo romano secondo Polibio.*

I resti di un campo legionario di Masada, Gerusalemme, visti dall'alto e da terra.

La capacità ricettiva di un accampamento romano oscillava fra un minimo d'un migliaio di uomini e un massimo di alcune decine di migliaia con i relativi animali, ossia cavalli, muli e bovini da macello, nonché con le attrezzature, le armi collettive, le officine per la manutenzione e i depositi dei viveri. Igino ce ne ha tramandato le dimensioni di uno destinato a un esercito di 42.000 soldati, pari a m 687 x 480.[8] Le difficoltà insite nella formazione di un accampamento, quale che fosse, scaturivano dai molti condizionamenti ambientali che doveva soddisfare, primo tra tutti l'adiacenza d'abbondante acqua potabile. Anche quando lo si costruiva ogni giorno al termine della marcia di trasferimento, il *metator,* che precedeva la truppa, doveva trovare un sito prossimo ad un fiume, un torrente o un lago - non a caso i toponimi di tutte le battaglie sono sempre idronimi - di cui *librator* subito ne curava lo spianamento. Solo allora il *mensor* poteva delimitarne gli spazi rettangolari riservati alle tende[9], dopo averne tracciato le due direttrici principali il cui centro era un preciso punto, ricordato dallo Pseudo Igino Gromatico, col nome di *groma,* con queste parole[10]:

"*12-Presso l'ingresso del pretorio, nel mezzo dell'accampamento lungo la via principale vi è un luogo chiamato della groma, poiché vi si confluisce in massa, e inoltre è utilizzato come inizio delle misure dell'accampamento. Proprio lì viene infissa l'asta metallica, sulla quale s'innesta la groma, affinché si facciano coincidere con rigore le porte del campo alla stella. E quanti esercitano tale attività sono denominati gromatici.*"[A2]

8 Cfr. PSEUDO IGINO, *De munitionibus castrorum*; cfr. POLIBIO di MEAGALOPILI, *Storie*, lib.VI, 27-34.
9 Cfr. Y. LE BOHEC, *L'esercito romano. Le armi imperiali da Augusto alla fine del terzo secolo*, Urbino 2001, pp. 173-176 e 215-218.
10 Da PSEUDO IGINO, *De munitionibus...*, cit., cap.12.

Cippo gromatico in trachite euganea (131x41x33) rinvenuto a San Pietro Viminario in località il Cristo nel 1972. Sulla faccia superiore è inciso il decussis, che sta ad indicare l'incrocio tra un kardo e un decumanus, mentre su due facce laterali opposte compaiono le iscrizioni: S(inistra D(ecumanum)II e K(ardo maximus?).

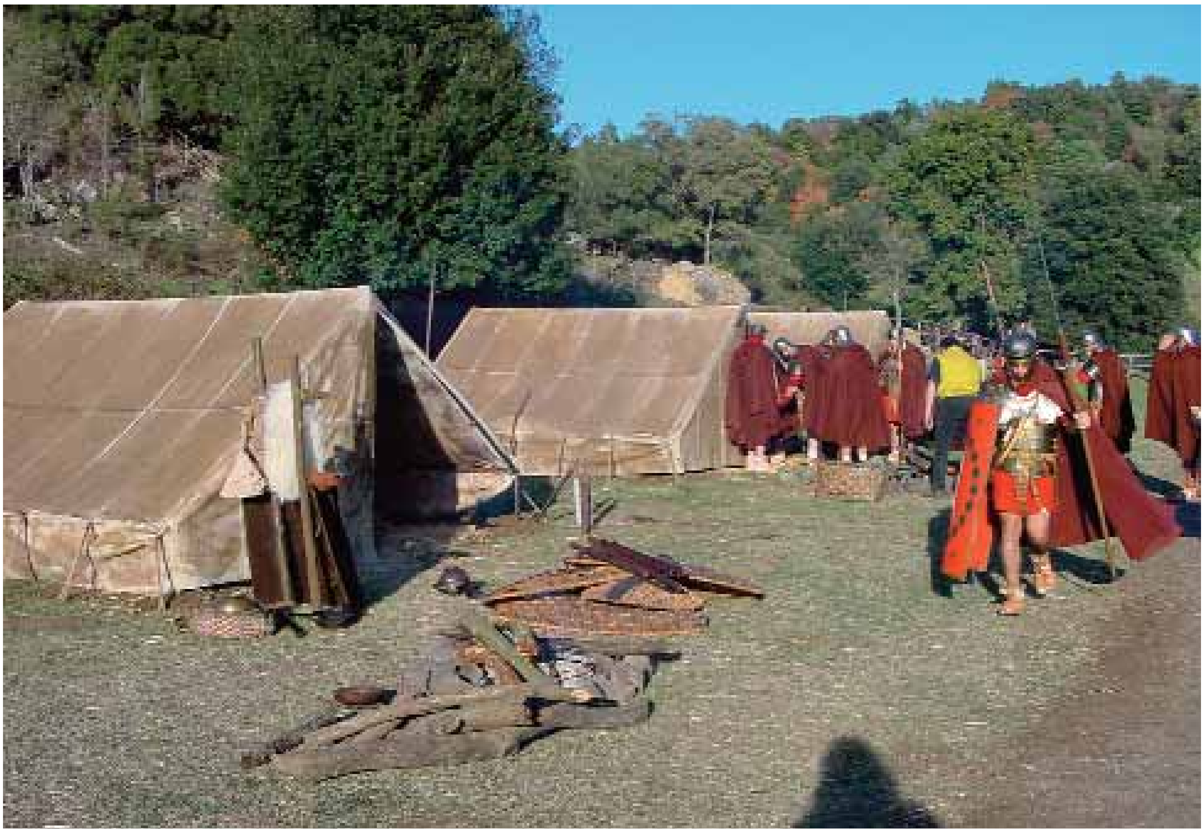
1.3 Le tende dei legionari

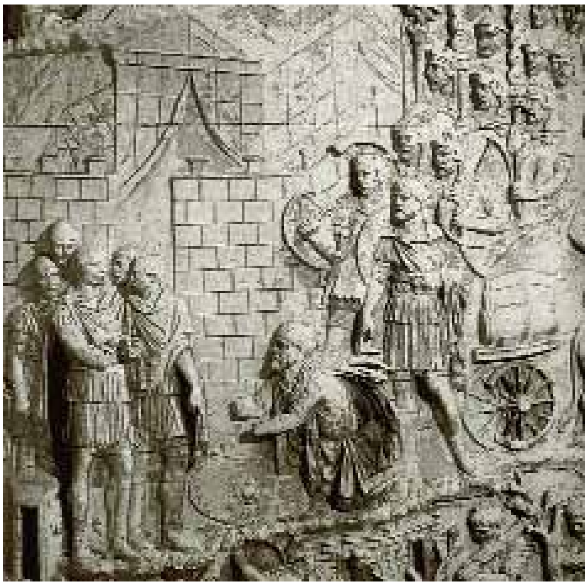
Per restare all'accampamento romano, ad eccezione di quelli trasformatisi nelle grandi basi permanenti, l'alloggio dei legionari avveniva sotto le tende, dette *papilio*, che sebbene ottenute con teli di pelle[11], invece che di tessuto, non differivano molto dalle attuali canadesi. Così il solito Igino le descrive ricordandone le dimensioni[12]:

"*1-Una tenda occupa dieci piedi, richiede per la messa in tensione due piedi ed ospita otto militi. Una centuria al completo ne conta ottanta; corrispondono a dieci tende, che occupano di lunghezza centoventi piedi. Pertanto, poiché i semi lotti hanno una larghezza di trenta piedi, se ne danno dieci alla tenda, cinque alle armi, nove ai muli, per un totale di ventiquattro. Il doppio pari a quarantotto piedi, come ovvio, essendo il lotto lungo sessanta ne restano dodici, intervallo sufficiente per passare. Questa metratura è calcolata per una legione al completo. Poiché per la guardia sono tratti quattro militi ogni otto, sotto ciascuna tenda non ci saranno mai otto militi. Per la quale ragione quelli che vi stanno possono allargarsi maggiormente.*"[A3]

In pratica, la tenda era formata da due spioventi sorretti da un apposito cavalletto di legno e veniva fissata al suolo tramite corde, con picchetti di circa 40 cm sempre di legno. A pianta quadrata, ingombrava circa 3.5 m per lato, di cui 3 interni e 0.5 esterni, per l'ancoraggio; copriva perciò oltre 9 mq e l'altezza al colmo raggiungeva m 1.80, mentre all'imposta non superava il metro. Vi si accedeva attraverso due teli frontali mobili e vi dimoravano otto uomini, con i loro effetti personali e le armi, in stretta promiscuità. I teli derivavano da pelli bovine, per lo più cuoio di rilevante spessore, ideale per resistere alle intemperie, molto meno confortevole nei climi caldi. Per ciascuna tenda ne occorrevano almeno 25 che, con i tiranti e i picchetti, ne facevano ascendere il peso a circa 100 kg. Considerando che ogni legione

A2 Testo originale Allegato 2, in Allegati.
11 Cfr. M. LEGUILLOUX, *Le cuir et la pelletterie à l'époque romaine*, Paris 2004, pp. 154-159.
12 Da PSEUDO IGINO, *De munitionibus...*, cit., cap.1.
A3 Testo originale Allegato 3, in Allegati.





In alto ed a fianco sopra: *Ricostruzioni di parti di accampamenti romani con le relative tende per legionari.*
Sopra: *Colonna Traiana, Roma, dettaglio con raffigurazione di tende per legionari.*
A fianco, in basso: *Disposizione per il riposo dei soldati in una stampa del XVIII secolo: la tenda si deve immaginare analoga per dimensioni a quella romana.*

doveva disporre di 500 tende del genere, e molte altre ancora più grandi, il loro peso complessivo da trasportare sui carriaggi superava le 50 tonnellate, cioè almeno una cinquantina di carri!

2. Muri e mura

2.1 L'opera cementizia

I Romani chiamarono l'impasto di calce e pozzolana *opus caementicium* che, per assonanza fonetica, sembrerebbe precorrere il nostro cemento: in realtà, tranne che per la fluidità iniziale ed il successivo rapprendersi, non ostenta alcun'altra analogia. Peraltro la definizione designava qualsiasi mescolanza di pietrisco e malta. Nessuna però ebbe mai la tenacia di quella ottenuta con calce e pozzolana, che non fu né un cemento nel senso moderno, né un calcestruzzo propriamente detto. All'epoca, infatti, i *caementa*, erano gli inerti, le pietre cioè più o meno piccole, che venivano tenute insieme da un legante, impasto che non ebbe mai un preciso nome, pur essendo sostanzialmente affine ad una malta e la cui conoscenza e disponibilità, tramite la calcinazione della pietra calcarea, si perde nella notte dei tempi. Le prime notizie certe del suo impiego, infatti, rimontano al tempo di Nabucodonosor quando, a Babilonia, s'iniziò a sostituire la malta asfaltica con la calce idratata, pratica presto diffusasi specialmente laddove non sgorgava naturalmente il bitume e, per contro, abbondavano la pietra calcarea e la legna. Approfondendo ulteriormente la questione, dai reperti archeologici risulterebbe che sin dalla metà del III millennio a.C. la calcinazione del calcare fosse effettuata in Mesopotamia dove, risultando costosa, si escogitò di diluirla con sabbia, pietra macinata, polvere di mattonelle e ceneri.

La pozzolana, sebbene correntemente ritenuta una sorta di sabbia, cioè una roccia ridotta in minutissimi

Le mura di Alife, uno dei primi impieghi dell'opus caementicium in grandi strutture.

Scorcio delle mura di Cosa.

frammenti dall'erosione eolica o idrica, è in realtà una deiezione vulcanica, cenere e piccolissimi lapilli, alterata ed omogeneizzata dagli agenti atmosferici, ricca d'ossidi di silicio, alluminio e ferro, oltre a percentuali variabili d'ossidi di calcio e di magnesio. E se mescolando la sabbia con calce ed acqua si produce una sorta di calcare artificiale, lo stesso procedimento applicato alla polvere di Pozzuoli genera un composto che, una volta rappreso, è di gran lunga più resistente e coeso, capace di reggere enormi compressioni e sostenere discrete trazioni, peculiarità quest'ultima non condivisa neanche dai moderni cementi non armati. Con ulteriore aggiunta d'acqua, l'impasto diviene molto fluido, idoneo perciò ad essere colato in casseforme e, una volta rappreso (processo che avviene persino in immersione) assume una consistenza lapidea. Quanto appena riassunto va sotto il nome di *effetto pozzolanico*, e deriva dalla nostra cultura mentre la sua scoperta da quella romana.[13]

Da un punto di vista storico, ancora una volta, è estremamente probabile che la tecnologia romana cooptò la scoperta della malta da quella della Magna

13 Per approfondimenti in merito al calcestruzzo romano, cfr. J. B. WARD-PERKINS, *Architettura romana*, in *Storia universale dell'architettura*, pp. 97-194.

Grecia, intorno al III secolo a.C.. Una testimonianza probante in merito la si può cogliere nelle mura di Cosa, costruite nel 273 a.C., la cui parte basamentale è in opera poligonale mentre l'elevato è in conglomerato cementizio. Affinché, però, l'opera cementizia, almeno nei primi decenni, fosse concretamente utilizzabile occorreva disporre, ovviamente, della famosa pozzolana, cioè della deiezione vulcanica che, erroneamente, si suppose esclusiva di alcune località circumvesuviane. Opportunità che fu a disposizione dei tecnici romani soltanto dopo la conquista della Campania, compiutasi, appunto, nello stesso arco di tempo. Per un lungo periodo se ne fece incetta, per opere da erigersi anche a centinaia di km di distanza, e solo quando si realizzò che l'intero bacino laziale e poi buona parte dell'Italia centrale erano ricchissimi della preziosa *harena fossica,* la tecnica del calcestruzzo poté applicarsi senza alcuna restrizione.

Nonostante l'assoluta incomprensione del reale processo di presa del conglomerato pozzolanico, nessuna incertezza permase sul suo esatto dosaggio ed, in brevissimo volgere, ne furono perfettamente recepite le ampie potenzialità applicative. Poiché il conglomerato aveva inizialmente una consistenza fluida, doveva essere colato in apposite casseforme, ma raramente le si formarono con tavole di legno, come avviene col nostro cemento armato, preferendosi l'adozione di due paramenti murari, da cui la definizione generica di *opera a sacco* che, in base alla loro connotazione, finirono per denominare la relativa tecnica. Pertanto allorquando i paramenti erano ottenuti con blocchetti di pietra irregolari si chiamò *opus incertum*, se quadrati *opus reticolatum*, se di mattoni *opus latericium*, ecc..

La funzione dei paramenti non si riduceva a quella di mera cassaforma in quanto fornivano un supporto statico per il tempo dell'indurimento, spesso anche notevolmente lungo per masse di grande spessore. Grazie alle indiscutibili convenienza e rispondenza, l'opera cementizia trovò vasto e variegato impiego, dalla modesta villa al grandioso anfiteatro, dai lunghi acquedotti alle innumerevoli cerchie urbane. Apporto che non a caso è stato considerato il principale contributo di Roma nella storia dell'architettura. Di certo il suo avvento fu una rivoluzione per l'edilizia, paragonabile a quello del cemento armato. A rendere l'analogia ancora più calzante, contribuisce lo sporadico ritrovamento di barre di ferro, affogate nella massa del calcestruzzo, disposte in modo da poter resistere agli sforzi di trazioni!

Dall'alto, alcuni esempi di: opus reticolatum, opus incertum e opus latericium.

2.2 L'opera poligonale: la tecnica antisismica

La tecnica edificatoria con la quale furono innalzate le fortificazioni italiche fino al III sec. a.C., è ricordata nelle sue varianti come opera poligonale, megalitica, pelasgica e micenea, tanto per citare le più frequenti definizioni. Gli antichi la nominarono pure opera saturnia, tirinzia e lesbica, mentre per i Romani fu soltanto *opus incertum,* senza alcun riferimento alle dimensioni dei conci. In prima approssimazione si tratta

di mura erette accatastando macigni di ragguardevoli dimensioni e di forma irregolare, in modo da farli combinare tra loro il più strettamente possibile, senza l'impiego di leganti.[14] Circa la diffusione, la tecnica poligonale si ritrova in strutture innalzate, in tempi diversi, in Asia, in Giappone, in Africa, in Britannia, in Italia, in Grecia e persino nel Perù e sulle Ande, fra il IV millennio a.C ed il XV sec. d.C.. Per restare nella Penisola il maggior numero di testimonianze appare nell'Etruria Marittima, nella Sabina, nella Marsica e, in particolare, nei territori degli Ernici, dei Volsci e dei Sanniti.[15] Più sporadiche nell'Italia Settentrionale e nella Magna Grecia, come pure in Lucania e in Sicilia: un caso a se stante quello della Sardegna, con l'imponente fenomeno nuragico. Ampia dovunque la gamma di impiego, così riassumibile:

1 - Cerchie urbiche prive di torri;
2 - Cittadelle;
3 - Sbarramenti di pendice;
4 - Basamenti di templi o podi;
5 - Sostruzioni stradali;
6 - Basolato delle grandi strade;
7 - Terrazzamenti agricoli;
8 - Platee artificiali per l'impianto di ville;
9 - Sepolcri e cisterne;
10 - Torri isolate o aggregate, come i nuraghi;
11 - Piedritti di ponti e, più raramente, ponti stessi.

In merito all'interpretazione e classificazione delle strutture in opera poligonale in base ai precipui criteri tipologici e strutturali, tra i primi studiosi che se ne occuparono approfonditamente il Gerhard[16] che le attribuì ai Pelasgi o agli Aborigeni, osservando pure la stretta affinità ostentata dalla pavimentazione stradale romana, senza indagarne le ragioni della scelta. Fu la volta, quindi, del Dodwell[17] che iniziò a distinguerla in varie maniere e tipologie. Anche il Promis ravvisò nel basolato delle grandi arterie consolari la variante orizzontale del poligonale, senza però ricercarne una qualsiasi motivazione. Il Poletti[18] individuò quattro maniere, delle quali la più antica doveva essere anche la più rozza, precisando che non era necessariamente vero il contrario. L'architetto Giovenale, scavando le mura di Norba, ne ipotizzò una derivazione dalle fortificazioni micenee, ma i frammenti ceramici rinvenuti le certificarono del III sec. a.C. e, pertanto, romane.[19] Sempre in base alle connotazioni formali il Lugli[20] elaborò una ripartizione razionale della tecnica poligonale, rimasta canonica, precisando che andava distinta in quattro *maniere*, e non *epoche*, da ricavarsi dall'osservazione dell'intero complesso. In sintesi:

1^a maniera: i blocchi sono raccolti direttamente, o staccati dalla roccia con leve, e posti in opera uno sull'altro senza altra lavorazione che l'eliminazione delle parti sporgenti. La loro dimensione non è mai notevole e per porli in opera vengono fatti rotolare dall'alto in basso. L'adozione di tale maniera per l'Italia non dovrebbe risalire oltre il VII sec. a.C..

2^a maniera: i blocchi sono staccati dalla parete rocciosa e sbozzati, assumendo la forma di poligoni irregolari, senza però combaciare fra loro. Volutamente evitati gli allettamenti orizzontali, impiegati solo presso i varchi e gli angoli. Quasi sempre il muro viene eretto con un leggero abbattimento, appoggiandosi alla pendice retrostante.

3^a maniera: i blocchi sono accortamente sagomati in forma di poligoni irregolari e fatti combaciare strettamente fra loro, mentre il loro estradosso è rifinito a gradina in modo da renderli levigati. Frequenti gli innesti fra blocchi adiacenti mediante un dente, o una tasca, ricavati in quello già in opera: la posa in opera implica il trasporto e il sollevamento con adeguate macchine di legno. Negli angoli, presso le porte e le torri, ampio il ricorso all'opera quadrata.

4^a maniera: l'opera poligonale tende a confondersi con quella quadrata mantenendo solo in minima parte le sue originali connotazioni irregolari. I blocchi sono allettati con lunghi piani di posa, dalla linea appena sinuosa, spezzata di tanto in tanto dalla differente altezza dei filari ed i giunti verticali sono tagliati sempre obliqui. Talvolta questa opera poligonale della 4^a maniera fu accoppiata con la cementizia, servendogli da paramento esterno o da legamento angolare.

14 Cfr. G. LUGLI, *La tecnica edilizia romana con particolare riguardo a Roma e Lazio*, Roma 1957.
15 Cfr. G.B. GIOVENALE, *I monumenti preromani del Lazio*, in *Dissertazioni della Pontificia di Archeologia*, VII, Roma 1900.
16 Cfr. O. GERHARD, *Mura dette ciclopiche*, in *Annali dell'Istituto di Corrispondenza Archeologica*, Roma 1831.
17 Cfr. E. DODWELL, *Views and description of Cyclopian, or, Pelasgic remains,in Greece and Italy*, London 1834.
18 Cfr. L. POLETTI, *Delle genti e delle arti primitive d'Italia*, in *Dissertazioni della Pontificia Accademia Romana di Archeologia*, VIII, Roma 1838.
19 Per l'esattezza la Scuola Archeologica Italiana, diretta dal prof. Luigi Pigorini, stimolò l'allora Ministero della Istruzione Pubblica ad intraprendere una serie di scavi in diverse località fortificate italiche al fine di accertarne il grado di derivazione e dipendenza dalle cittadelle micenee. In pratica si prescelse allo scopo Norba e le ricerche vennero affidate a Luigi Savignoni e Raniero Mengarelli. Le campagne di scavo si attuarono nel 1901 e nel 1902, ed i risultati furono pubblicati a partire dall'anno seguente.
20 Da G. LUGLI, *La tecnica...*, cit., p. 64.

I

II

III

IV

Sopra: *Le quattro maniere del Lugli.*
A fianco, sopra: *Le mura poligonali di Norba.*
A fianco, sotto: *Dettaglio della trama muraria della cerchia poligonale di Amelia.*

Le distinzioni tipologiche dell'opera poligonale, oltre alle incertezze cronologiche, non scalfiscono però l'interrogativo di fondo: perché tante popolazioni adottarono una così complicata tecnica edificatoria, per giunta affinandola nel tempo invece di abbandonarla? Perché nei secoli successivi l'ingegneria romana, di gran lunga la più evoluta e razionale, la scelse per il manto d'usura stradale, preferendo i basoli poligonali a quelli rettangolari? Costruire in tecnica poligonale di seconda e terza maniera significa sagomare ogni blocco, sempre di grandi dimensioni, per farlo combaciare con quelli già posizionati: necessari un esatto rilievo dei contorni dei secondi per uno scrupoloso taglio del primo. Impossibile la prefabbricazione in cava, come invece ampiamente praticato con i basoli rettangolari, e per conseguenza esasperatamente lento l'avanzamento. Né è credibile seriamente che tanto i Giapponesi, quanto i Peruviani, i Micenei, i Britanni, i Maltesi, gli Italici, i Siculi, i Nordafricani, in epoche e circostanze diverse ma in assoluta autonomia, escogitassero tutti la medesima tecnica per erigere strutture prefigurate per estreme longevità o per gravosi cimenti, come appunto fortificazioni, strade, ponti, templi e sepolture elitarie.

Quale fu il fattor comune che persuase gli Inca sulle Ande e i Volsci sull'Appennino[21], a innalzare in quel modo assurdo le loro muraglie? Quali enormi sollecitazioni dovevano frustrare?

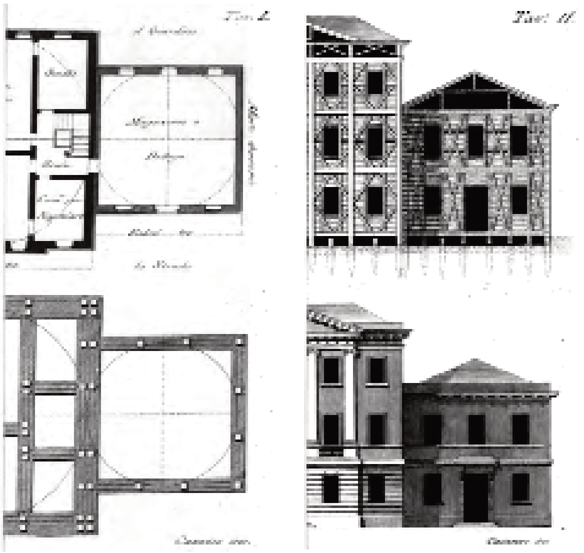
Ma proprio dall'esigenza di contrastare eventuali poderose spinte e dalla teoria dei siti elencati emerge la probabile soluzione dell'enigma: l'opera poligonale domina senza eccezioni e sistematicamente in tutte le aree ad alta ricorrenza sismica! Le sollecitazioni enormi a cui tenta di resistere sono quelle catastrofiche dei terremoti in Anatolia, in Perù, in Giappone o in Grecia.[22] Il poligonale, eliminando ogni allettamento orizzontale, impedisce qualsiasi scorrimento dei conci sottoposti alle sollecitazioni telluriche, esito non di rado esaltato da apposite protuberanze dei blocchi adiacenti. Questi, grazie alla loro forma irregolare, pur oscillando durante il sisma, all'estinguersi delle spinte tornavano nella giacitura iniziale, senza alcun'apprezzabile conseguenza di sorta.[23] Si trattò perciò, in ultima analisi, di un'antesignana e condivisa tecnica di costruzione antisismica, la cui efficacia è provata dalle centinaia di strutture pervenuteci sostanzialmente integre, in contesti geologici dove nessun'altra opera è sopravvissuta.

Quanto alla pavimentazione stradale, la ragione è identica, bastando sostituire alle sollecitazioni telluriche quelle meccaniche, incessanti, provocate dal transito dei pesanti carriaggi protrattosi per secoli. Una costruzione senza dubbio molto più lenta della solita, per una longevità di sicuro più estesa della solita![24]

21 Cfr. E. T. SALMON, *Il Sannio e i Sanniti*, Torino 1985, pp. 207 e sgg.
22 Da Y. GARLAN, *Recherches de...*, cit., Parigi 1974, p. 138.
23 Un perfetto esempio di tale resistenza è fornito da ampie tratte delle mura dell'acropoli di Montecassino, realizzate in terza maniera, sopravvissute sostanzialmente intatte ai pesantissimi e scriteriati bombardamenti, aerei e terrestri, alleati nel corso del II conflitto mondiale. In merito cfr. A. PANTONI, *L'acropoli di Montecassino e il primo monastero di San Bendetto*, Montecassino 1980, pp. 29-50.
24 Cfr. A. MONDINI, *Dalla preistoria all'anno Mille*, in *Storia della Tecnica*, Torino 1973, pp. 334-337. Ed anche cfr, V. W. VON HAGEN, *Le strade imperiali di Roma*, Roma 1978, pp. 7-20.

A fianco dall'alto: Il poligonale in Perù a Sacsahuaman, a Malta ed a Cefalù.
In basso: Confronto tra le strade basolate romane e quelle attuali.

2.3 La tecnica baraccata: le case intelaiate antisismiche



A Lisbona nel 1755, all'indomani del terremoto che l'aveva devastata, fu resa obbligatoria la costruzione degli edifici, pubblici e privati, con la tecnica muraria definita *baraccata*, cioè case che nelle leggere e sottili pareti inglobavano una intelaiatura lignea, fungente da nervatura di raccordo in caso di sollecitazioni sismiche. Nel 1783 fu Reggio Calabria ad essere distrutta dal terremoto ed il governo borbonico, a conoscenza della promettente esperienza, promulgò a sua volta un regolamento edilizio per il quale l'unico sistema di costruzione consentito era appunto quello della *casa baraccata*. Nel 1860 anche lo Stato Pontificio adottò il medesimo regolamento per l'edificazione del comune di Norcia, assumendo come tipologia di riferimento le case baraccate già realizzate nel napoletano. Fu la volta, quindi, di Casamicciola che, dopo il terribile sisma del 1883, adottò la stessa tecnica, opzione seguita in seguito al terremoto del 1887 anche da vari comuni della Liguria.

Dal punto di vista storico si ricorda correntemente che la casa baraccata nasce in Italia, proprio in Calabria nel 1638, e si ricorda il palazzo del conte di Nocera quale esempio emblematico del criterio, stando al libro di Giovanni Vivenzio.[25] A voler essere pignoli, sempre in Calabria si registra la diversificazione fra la *casa intelaiata* e quella *baraccata*, entrambe con nervature lignee ma lasciate a vista nella prima ed affogata nella muratura nella seconda. Circa l'arco cronologico d'adozione va osservato che si protrasse fino al 1915, quando per le costruzioni antisismiche si constatò la straordinaria efficacia della tecnica del cemento armato. Per completezza d'informazione, va osservato che fra le foto di cui disponiamo delle terribili conseguenze del terremoto di Messina del 1908, ne spicca una relativa, appunto, ad una casa baraccata eretta nel 1783: nonostante i suoi 125 anni e nonostante la inimmaginabile violenza del sisma, non ha riportato considerevoli danni, verifica eloquente della corretta intuizione!

Anche una breve indagine storica dimostra che la suddetta tecnica baraccata è la riproposizione dell'antico *opus craticium* romano, del quale si possono

25 Cfr. G. VIVENZIO, *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria, e di Messina del MDCCLXXXIII,* Napoli 1783.

A fianco, dall'alto: *I disegni relativi ai progetti delle case baraccate in un volume del '700. Le mura intelaiate di epoca romana ad Ercolano e Pompei.*

Messina, terremoto del 1908: confronto tra le rovine delle costruzioni tradizionali (sopra) ed una casa baraccata (sotto).

osservare rilevanti esempi ad Ercolano ed a Pompei, e non soltanto nelle pareti divisorie interne ma pure in quelle perimetrali portanti. A ben vedere si tratta, anzi, della struttura muraria mista più diffuso dell'architettura vesuviana ed il suo impiego, tanto presente in zona, deve perciò relazionarsi alla particolare natura geologica dell'area, con frequentissimi eventi sismici, a bassa intensità ma non per questo non devastanti. In pratica l'*opus craticium*, od opera a graticcio, è una tecnica edificatoria caratterizzata da uno scheletro portante ottenuto con elementi lignei verticali, pali o murali, di discreto spessore raccordati ad orizzontali, travi e correnti, giuntati fra loro con incastri e grappe di ferro. I primi con spessore compreso fra gli 8 ed i 12 cm ed i secondi fra i 6 e gli 8 cm. Dal loro incrociarsi scaturivano specchiature di circa 50-80 cm di lato, tamponate da murature in *opus incertum* con pietre di piccola pezzatura unite con abbondante calce. Abitualmente presente uno strato esterno ed interno di rivestimento, finalizzato a proteggere il legname e a fornire una maggiore robustezza al complesso. Lo spessore dei muri così realizzati, si attesta in genere intorno ai 20 cm, più che sufficienti dal punto di vista statico per le case a due soli livelli, o per le loro suddivisioni interne. In particolare si preferiva, per la sua solidità, per le tramezzature a piano terra e, per la sua leggerezza, per le mura perimetrali dei piani superiori. Quanto alla datazione risulta adottato dal III sec. a.C.: da altre fonti sembrerebbe addirittura già impiegato in Italia dal VI a.C., sopravvivendo per tutto il Medioevo e diffondendosi in Turchia e nei villaggi dell'Europa nord-occidentale, dove troverà impiego fino ai nostri giorni.

Va infine osservato che se inizialmente l'impiego dell'*opus craticium* fu dettato da motivazioni economiche, per la sua semplicità e rapidità, in seguito, constatata la grande vulnerabilità agli incendi ed all'acqua, rimase solo dove s'imponevano le sue peculiarità secondarie, la leggerezza e l'elasticità, ottime per case discretamente antisismiche.

3. L'ambiente disegnato

Nei paragrafi precedenti sebbene non esplicito, si deve supporre però sistematico l'uso della squadra e della livella, vuoi per impiantare un accampamento, vuoi per erigere gli edifici. A quei primi elementari strumenti, col passar del tempo, se ne aggiunsero molti altri progressivamente più precisi e complessi, capaci di consentire un buon rilievo e una attendibile rappresentazione del territorio circostante, indispensabili per la progettazione delle grandi opere ed infrastrutture da insediarvi. Prima di passare alla loro descrizione, è utile riportare una tabella delle principali unità di misura lineari dell'età classica[26]:

	Unità di misura greche	Unità di misura romane
Dito	mm 19.3	mm 24.6
Palmo		mm 7.41
Spanna	mm 231.2 (12 d)	mm 295.7
Cubito	mm 462.4 (2 sp. 24d)	
Piede		mm 296.4 (16 d)
Passo s.		mm 741
Passo		mm 1482 (5 pd)
Pertica		mm 2964 (10 pd)
Stadio	m 177.6	m 185 (625 pd)
Miglio		m 1482 (5000 pd)
Lega		m 7500 (25000 pd)

3.1 L'archipendolo

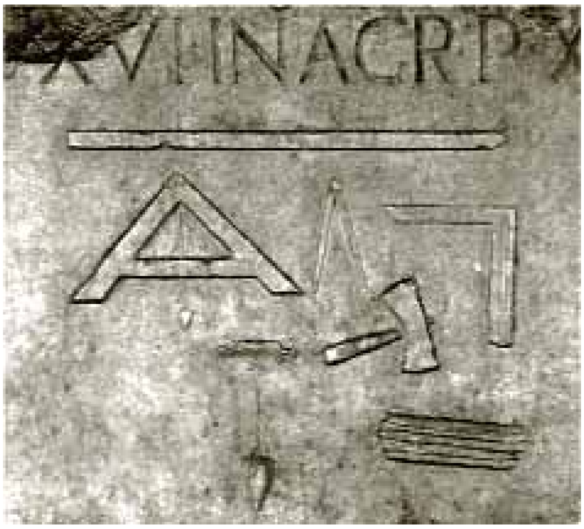
Questo elementare strumento si crede di remota origine egiziana, forse delle prime dinastie. Derivò dall'unione del filo a piombo con la squadra: l'etimologia risulta a sua volta composta dai termini *archi* = superiore e *pendolo* = filo a piombo, quindi un qualcosa di più del semplice filo a piombo, definizione che pur si attaglia perfettamente, fungendo anche da livella. Constava di una squadra a forma di A, con l'angolo al vertice di 90°, esatta metà d'un telaio quadrato. Proprio dal vertice scendeva il filo a piombo che, quando coincideva con la

26 Cfr. AA.VV., *Pondera, pesi e misure nell'antichità*, Libra 93, 2001.

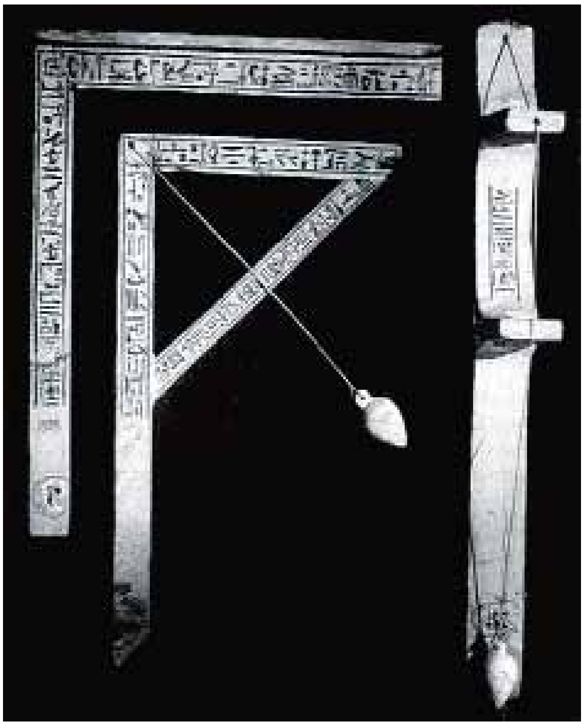
A fianco: *Edifici nord-europei costruiti con la tecnica delle case baraccate.*

tacca centrale della traversa, indicava la giacitura orizzontale del piano sul quale insistevano i due bracci. Riprodotto su innumerevoli bassorilievi e persino su alcuni mosaici, lo strumento è rimasto in uso fino al secolo scorso, scomparendo in seguito al diffondersi della livella a bolla.[27]

27 Cfr. N. DAVEY, *Storia del materiale da costruzione*, Verona 1965, pp. 219-226; cfr. AA.VV., *Homo faber. Natura, scienza e tecnica nell'antica Pompei*, Milano 2002.



In alto: *Mosaico pompeiano raffigurante un archipendolo con rinforzi di bronzo, di epoca imperiale.*
Sopra ed a fianco, in alto: *Bassorilievi romani con la raffigurazione di archipendoli.*
A fianco, sotto: *Archipendolo egiziano.*



3.2 L'odometro

Il metodo più semplice per misurare le distanze fu, a lungo, quello di contare i passi, per percorsi relativamente brevi, e le giornate di marcia negli altri casi. Mille passi divennero il *miglio*, scandito lungo le strade romane da un apposito cippo: la *pietra miliare*. Sui restanti itinerari, computare le distanze risultava di gran lungo più complesso, soprattutto quando si viaggiava sui carri. Si spiega forse così la molteplicità degli archetipi di *odometro*, vocabolo composto dai termini greci *odos*-strada e *metron*-misura e oggi chiamato semplicemente *contachilometri*. Per la storia della tecnologia fu il primo strumento automatico di misurazione e Vitruvio ce ne tramanda il modello più semplice, in due allestimenti, per impiego terrestre e per impiego navale, entrambi idonei a contare il numero di miglia percorse, ma non le frazioni intermedie.[28]

28 Cfr. VITRUVIO, *De architectura*, lib. X, 9, 1-4.

1- Passiamo ora ad un'invenzione che, se non è tra le più utili, è almeno tra quelle più ingegnose lasciataci dagli antichi: voglio descrivere il mezzo per conoscere quante miglia si sono percorse, sia con un carro, sia con una nave. Eccolo: le ruote del carro devono avere il diametro di quattro piedi, affinché un riscontro applicato a una di esse, da quando inizierà a girare sul terreno, indichi in maniera certa che abbia fatto dodici piedi e mezzo per ogni giro.

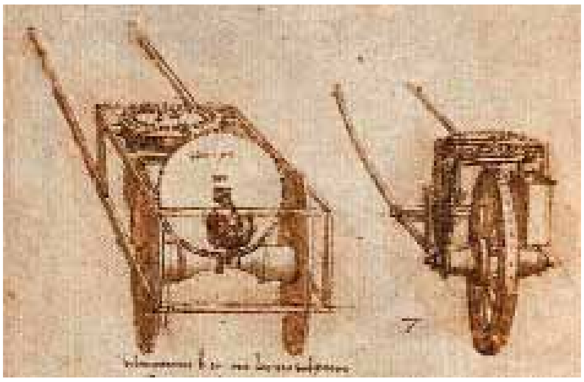
2-Pertanto, si fisserà saldamente all'interno del mozzo della ruota un timpano con un corto dente fuoriuscente dalla sua circonferenza. Al telaio del carro sarà applicata, con identica saldezza, una cassetta contenente un secondo timpano, posto perpendicolarmente al precedente ed attraversato da un piccolo asse. Questo avrà sulla circonferenza 400 corti denti, equidistanti fra loro, nei quali ingranerà quello del primo timpano; lateralmente avrà pure un piccolo dente, che ruoterà insieme a quelli della circonferenza. Occorrerà, inoltre, collocare orizzontalmente un terzo timpano, in un'altra cassetta, anch'esso con 400 corti denti, nei quali ingranerà quell'unico laterale del secondo timpano.

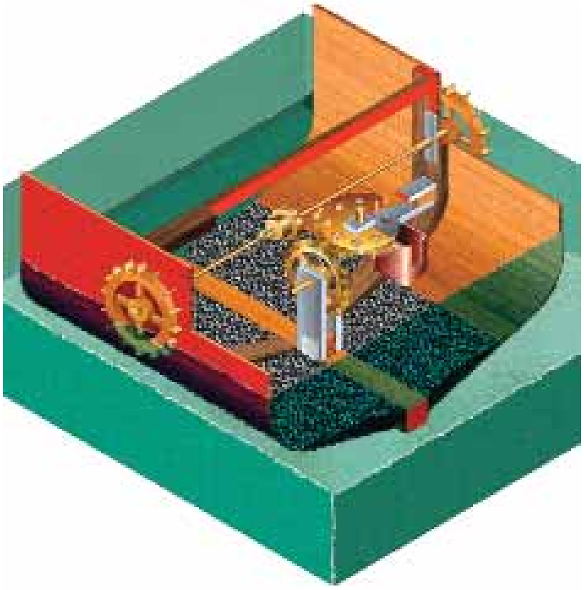
3-Nel terzo timpano, si faranno tanti alloggiamenti quante miglia, all'incirca, si stima che il carro possa percorrere in un giorno. In ciascuno sarà posta una pietruzza sferica, mentre nella scatola di questo timpano si praticherà un foro: le pietruzze giunte in corrispondenza cadranno, una per volta, in un vaso di bronzo sottostante.

4-Pertanto, quando il carro si muoverà, la ruota sposterà con il dente il timpano superiore, facendogli compiere un giro dopo 400 dei suoi; dopo 400 giri del secondo timpano anche il timpano orizzontale compirà uno spostamento, facendo cadere una pietruzza per cui il carro avrà percorso uno spazio di 5000 piedi, pari a mille passi, un miglio. Il rumore che farà ogni pietruzza cadendo, avviserà che si è percorso un altro miglio, ed il numero di quelle che si raccoglieranno sul fondo del vaso farà conoscere il totale delle miglia di strada fatte in un giorno.[A4]

Il congegno, azionato da una lama eccentrica solidale al mozzo d'una ruota, il cui diametro doveva essere di 4 piedi di modo che due giri equivalessero a 5 passi, constava d'una serie di ruote ciascuna munita di 400 denti. Avanzando il carro, ad ogni giro della ruota il mozzo spostava di un dente l'ingranaggio del congegno. Occorrevano 1000 passi per una sua intera rotazione; questa, a sua volta, provocava lo scatto di un solo dente della ruota successiva, sempre di 400 denti ma collocata orizzontalmente, sopra una piastra dotata di un buco. Lungo la sua corona, simile ai dischi dei vecchi combinatori telefonici, in fori ad uguale distanza stavano collocate altrettante pietruzze: il coincidere del foro superiore col buco della piastra, le faceva cadere una per volta in un'apposita campana di bronzo. Il suono indicava il miglio percorso e il numero complessivo delle pietruzze l'intera distanza. Va osservato che una ruota con 400 denti doveva necessariamente avere un diametro rilevante per poter essere costruita e, più ancora, per poter essere effettivamente ingrana, per cui l'odometro di Vitruvio si conferma di scarsa praticità. Una sua variante venne disegnata anche da Leonardo da Vinci, che la trasformò in un vero strumento topografico.

Sostanzialmente simile l'odometro navale, azionato da due ruote a palette applicate ad un asse fuoriuscente da entrambi i fianchi della nave. La disposizione, che deve supporsi desunta dai coevi mulini galleggianti,





In alto: *Odometro di Vitruvio rielaborato da Leonardo da Vinci, Codice Atlantico fol 1r.*
Sopra: *Ricostruzione virtuale dell'odometro navale di Vitruvio.*

A4 Testo originale Allegato 4, in Allegati.

rappresenta pure la più antica enunciazione del criterio informatore del battello a ruote laterali.[29]

5- Con qualche modifica si otterrà lo stesso risultato anche sull'acqua. Si faccia passare attraverso i fianchi della nave un asse alla cui estremità, da entrambi i lati, siano due ruote di quattro piedi di diametro, aventi intorno alla loro circonferenza delle pinne che tocchino l'acqua. Intorno a questo asse, al centro della nave, vi sia un timpano con un piccolo dente che fuoriesca dalla sua circonferenza. In corrispondenza si collochi una solida cassetta con un secondo timpano, diviso ugualmente in 400 denti, che si raccordi a quello intorno all'asse, ed abbia inoltre un dente laterale fuoriuscente dalla sua circonferenza.

6- In un'altra cassetta, si collochi orizzontalmente un terzo timpano, con i denti disposti come il secondo, e si raccordino al corto dente del timpano posto verticalmente, in modo che questo dente faccia avanzare ad ogni giro di un solo dente il timpano orizzontale, fino a fargli fare un giro intero. In quest'ultimo timpano, si sono praticati gli alloggiamenti per le pietruzze e sul fondo della cassetta che lo contiene un foro comunicante, con un canale tramite il quale queste, senza alcun ostacolo, una alla volta cadranno nel vaso di bronzo facendolo suonare.

7- Così, allorquando la nave si muoverà, spinta dal vento o dai remi, le pinne che sono intorno alle ruote, trovando resistenza nell'acqua, le faranno girare. Queste, a loro volta, faranno girare l'asse che farà girare il timpano, il cui dente, ad ogni giro, ne sposterà uno di quelli del secondo timpano, che farà lentamente la sua rivoluzione. In questo modo, quando le ruote avranno fatto quattrocento giri, avranno fatto fare solo un giro al timpano verticale, il cui dente laterale avrà spostato un solo dente del timpano orizzontale. A misura dunque che il timpano orizzontale girerà, col suo moto progressivo, porterà una pietruzza per volta sull'apertura della cassetta facendola cadere nel canale. Il rumore prodotto dalla caduta, renderà facile conteggiare le miglia di navigazione.[A5]

3.3 L'odometro di Erone

Del tutto uguale ai moderni contachilometri sotto il profilo funzionale, tranne che per la grandezza, l'odometro realizzato dal celebre Erone di Alessandria. Di lui ben poco sappiamo e, solo di recente, si è assodato che visse in Egitto nel I secolo d.C., dirigendo a lungo la mitica biblioteca alessandrina. Nonostante l'immensa reputazione dei numerosi trattati attribuitigli[30], pochi frammenti ce ne sono pervenuti: di questi il più consistente è il *Trattato della Diottrica*, dove fra l'altro è esposta la dettagliata descrizione del suo odometro, di cui alleghiamo la traduzione dal greco eseguita da Giovanni Battista Venturi nel 1804[31]:

Facciasi una commettitura a mo' di cassetta quadrata, nella quale tutta dovrà contenersi la macchina seguente. Dentro alla cassetta rasente il fondo e parallela ad esso adattasi una rotella di rame che porta affissi nell'orlo otto bastoncelli. Nel fondo medesimo della cassetta apresi una fenditura, per la quale un punteruolo, piantato nel mozzo d'una delle ruote del cocchio, ad ogni rivolgimento entrando nella fenditura spinge innanzi uno dei bastoncelli che è rasente la fenditura stessa; di modo che il bastoncello susseguente viene a prendere il posto del precedente; e così in infinito. Lande avverrà che quando la ruota del cocchio avrà dato otto rivoluzioni, quella dei bastoncelli ne avrà fatto una. Sul centro della ruota dei bastoncelli si affigge piantata in isquadro una vite, la quale ha l'altro suo estremo in un traversante fermato alle pareti della cassetta. A questa vite si applica di contro una ruota dentata, i denti della quale combinano coi vermi della vite: essa ruota è perpendicolare al fondo ed ha similmente impiantato un asse, le estremità di cui si terminano nelle pareti della cassetta: una parte del medesimo asse porta spire in esso incise, di maniera che esso pure è una vite. E di nuovo a tal vite si applica una rotella dentata… (come la prima e così di seguito). Ciascuna vite girando una volta muove un dente della rotella che le è applicata… Se dunque accada che la ruota applicata alla rotella dei bastoncelli (la quale con un suo giro intero indicava, come s'é veduto, otto rivoluzioni della ruota del cocchio) abbia 30 denti, questa, mossa in giro una volta intera dalla vite, indicherà 240 rivolgimenti della ruota del cocchio… (e così proporzionalmente per le altre ruote ingrananti)… Le suddette ruote dentate siano disposte in maniera da non toccare i lati della casetta, ma i loro assi sporgano fuori delle pareti, e gli sporti siano riquadrati per ricevere gli indici traforati essi pure in

29 Cfr. VITRUVIO, *De architectura,* lib. X, 9, 5-7.
A5 Testo originale Allegato 5, in Allegati.

30 L'indizio principale per la collocazione cronologica di Erone è il riferimento a titolo esemplificativo dell'eclissi di luna, descritto nel capitolo XXXV della sua *Dioptra,* interpretata da rinomati storici dell'astronomia come quella del 62 d.C..
31 G. VENTURI, *Commentari sopra la storia e le teorie dell'ottica del cavaliere Giambattista Venturi reggiano,* Bologna 1814, pp. 82-88.

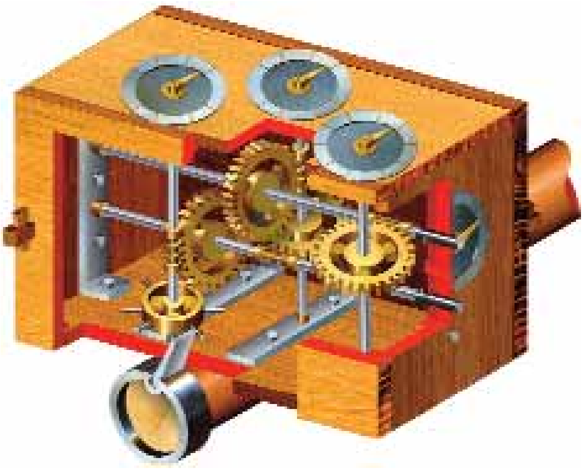
quadro. Sicché girando la ruota col suo asse girerà l'indice ancora; e la sua punta descriverà sulla faccia esteriore della stessa parete un cerchio il quale divideremo in un numero di parti eguale al numero dei denti della rotella inferiore.

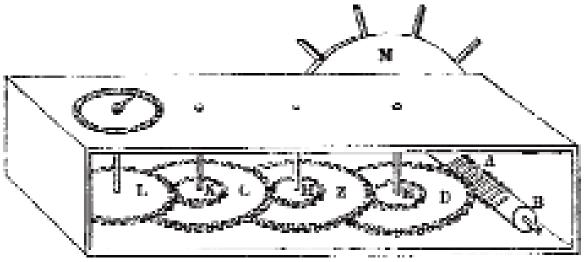
L'odometro di Erone, a differenza di quello di Vitruvio, forniva misurazioni con stima analogica estesa anche alle frazioni di miglio, tramite una serie di quadranti circolari sui quali giravano apposite lancette.[32]

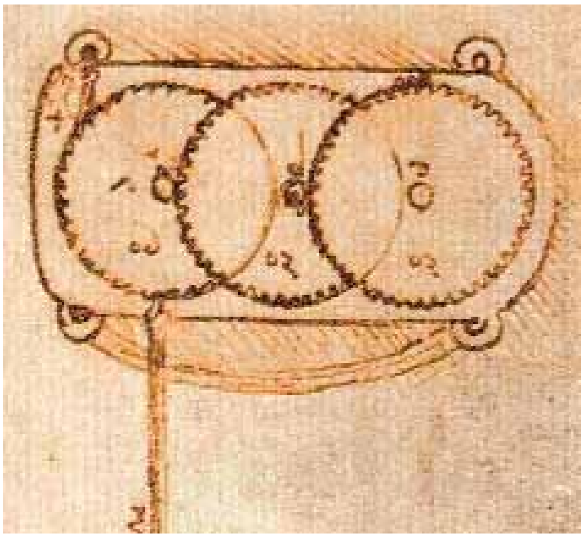
Facile dalla chiara traduzione immaginarne le connotazioni che il funzionamento, basato sull'impiego di viti senza fine e ruote dentate ad esse solidali e fissate su di un asse, la cui estremità a sezione quadra recava la lancetta. Questa, ruotando su di un quadrante graduato, forniva l'indicazione sulla rispettiva scala di misura, come, ad esempio, avviene nei moderni contatori dell'acqua. Va osservato che la trasmissione vite-ruota dentata, rispettivamente elemento movente e condotto, con assi sempre ortogonali fra loro, non è reversibile. Il che, evitando qualsiasi regressione, frustra eventuali errori di misura dovuti a forzatura della lancetta.

Il *Trattato della Diottrica,* oltre alla parte dedicata all'odometro descritto, contiene anche un frammento relativo ad una sua variante navale, che potremmo definire a ingranaggi in linea, ed un solo quadrante sulla cassetta di scarsissime dimensioni: in pratica un vero archetipo del moderno contachilometri, del quale Leonardo fornisce un preciso schizzo. Così la traduzione del Venturi, che fornirà pure la probabile emendazione del testo dalle incongruenze dovute ai copisti ed alle parziali distruzioni [33]:

Sia una vite AB, volgentesi in alcune boccucce [boccole]... [perdita del testo] *sia connessa una rota di 4 denti. A questa sia parallela una Z di 100 denti, e connessa a questa una H di 18 denti. Dirimpetto vi sia una I di 72 denti; e similmente connessa a questa una K di denti 18. E rimpetto similmente una L di 30 denti; dalla quale esca un Indice per mostrare la quantità degli stadj. Si costruisca una Rota alata M avente il contorno delle ale di* [perdita del testo] *la qual Rota*







32 Un primo strumento ad indici rotanti su scale circolari graduate è il cosiddetto Calcolatore di Antikythera, ma è verosimile che anche altri strumenti facessero ricorso a quel medesimo sistema analogico di notifica dimensionale. Cfr. G. BOFFITO, *Gli strumenti della scienza e la scienza degli strumenti*, Roma 1982, ristampa dell'edizione originale Firenze 1929, pp. 24-29.

33 G. VENTURI, *Commentari...*, cit., pp. 138-139.

A fianco, dall'alto: *Ricostruzione virtuale dell'odometro di Erone; trasmissione a vite senza fine e corona dentata; odometro navale di Erone in linea secondo il disegno del Venturi; lo stesso nel Codice Atlantico di Leonardo, fol. 1r.*

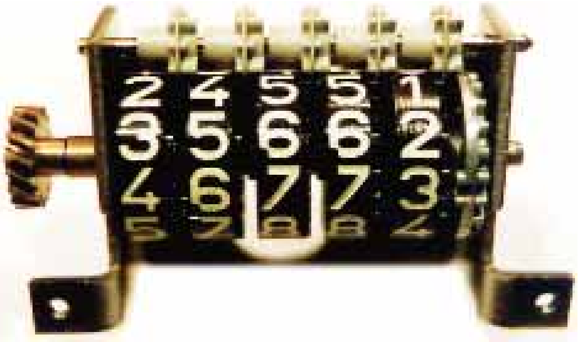
alata si move col suo asse in tempo eguale a quel della nave. Pongasi, che ad un rivolgimento della Rota M si muova un dente di D. E chiaro dunque, che camminando la nave cento mila, la rota L farà una rivoluzione. Cosicché se un cerchio descritto intorno al centro della L si divida in mille parti; un indice attaccato ad L, girando sul prelodato cerchio, segnerà a ciascuna divisione il progresso del movimento.

3.4 Il baculo

Quando non riusciva possibile misurare direttamente una distanza, interponendosi una profonda gola, un largo fiume o un braccio di mare, si ricorreva ad un rudimentale telemetro: il *bastone di Giacobbe,* detto anche *baculo* o *balestriglia* o ancora *radio.* La precisione dello strumento dipendeva molto dall'esperienza del suo operatore ma, in ogni caso, restava sempre scarsa. Storicamente il *baculo* risulta usato dapprima dagli Egizi, poi dagli Ebrei e quindi dagli Arabi. In Europa giunse nel Medioevo, portato forse dal matematico Levi ben Gerson (1288-1344).[34] Il modello più arcaico constava di una semplice asta graduata sulla quale poteva scorrere una più piccola a croce: la stima si basava sulla similitudine dei triangoli rettangoli. La rozzezza dello strumento, però, la rendeva estremamente approssimata, pur essendo il relativo criterio informatore alla base dei moderni telemetri ottici. Il che non impedì il protrarsi del suo impiego, fin quasi all'età moderna. Secondo alcuni studiosi, dal *baculo* derivò il *radio latino,* un perfezionamento del *radio greco,* detto appunto *bastone di Giacobbe*.

3.5 La groma

Trattando dell'accampamento, la citazione di Igino Gromatico fa riferimento ad un punto detto *groma*, nome verosimilmente derivato dalla posizione di stazione di uno strumento topografico, estremamente semplice, detto appunto *groma*. Improbo stabilire dove e quando fu inventato: forse ebbe origine in Mesopotamia, da dove nel IV secolo a.C. l'avrebbero cooptata i Greci, ribattezzandola *gnomona* o *stelletta.* Quindi, tramite gli Etruschi, sarebbe pervenuta ai Romani col nome di *gruma* o *ferramentum.* In dettaglio consisteva in una croce di ferro o di bronzo dai cui bracci scendevano quattro fili a piombo. Traguardandone le opposte coppie,



Sopra: *Un moderno contachilometri.*
Sotto ed in basso: *Moderna ricostruzione del baculo, o balestriglia, e la sua utilizzazione in una stampa del XVI sec..*

l'agrimensore individuava due direttrici a squadro fra loro, che gli consentivano di suddividere il terreno in allineamenti ortogonali.

Che lo strumento, nonostante la sua arcaicità, fosse di impiego corrente e diffuso anche secoli dopo, lo dimostra il rinvenimento di un esemplare a Pompei e la raffigurazione in alcune steli funebri.[35]

34 Da G. BOFFITO, *Gli strumenti della scienza…*, cit., pp. 24-29 E sulla balestriglia in particolare, pp. 61-66.

35 Cfr. AA.VV., *Homo faber. Natura…*, cit., pp. XX.

Per quanto se ne può desumere, l'asta, di un paio di metri, sorreggeva la croce ben al di sopra degli occhi dell'operatore, che poteva perciò liberamente traguardare i fili a piombo. Il vero limite dello strumento si rivelava in presenza di vento anche debole, sufficiente però a farne oscillare i fili, frustrando la collimazione.

Sopra: *Bassorilievo proveniente dall'area archeologica vesuviana e raffigurante una groma.*
A sinistra: *Ricostruzione di legionario intento all'utilizzo della groma.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale della groma romana.*
Sotto: *Reperto proveniente da Ercolano: si tratta, con molta probabilità, di un puntale di groma.*

3.6 Lo squadro agrimensorio

Il superamento della banale deficienza, si conseguì con lo squadro agrimensorio, a tamburo o a bossolo. La funzione dei fili, infatti, era affidata a sottili fessure, praticate ad intervalli regolari sulla superficie laterale di un tamburo cilindrico. Nei modelli usuali l’intervallo era di 90° che scendeva a 45° in quelli più accurati; per impieghi di maggiore accuratezza, diversi dalla mera squadratura, scendeva addirittura a 22°30’. Traguardando attraverso una fessura quella opposta corrispondente, veniva individuata una direttrice indicata sul terreno da una palina; quindi, tenendo saldamente bloccato lo strumento, traguardando nuovamente dalla fessura a 90°, s’individuava la direttrice ortogonale alla precedente, indicando anche questa con una seconda palina. Infine, traguardando dalla fessura a 45° si determinava la diagonale e la sua bisettrice da quella a 22°30’[36]: si potevano perciò tracciare figure geometriche a 4, a 8 o a 16 lati, con notevole precisione.

Per la messa in stazione dello squadro s’innestava nell’estremità superiore di una asta di legno rastremata, munita inferiormente d’una cuspide ferrata per l’inserimento nel terreno. Prima di procedere alla collimazione occorreva verificare la perfetta verticalità dell’asta, con un filo a piombo. In merito all’origine dello squadro agrimensorio, se ne ignora sia l’epoca che il luogo e, ovviamente, l’ideatore. Il rinvenimento di un esemplare sostanzialmente integro a Coblenza, fugò ogni riserva: nella fattispecie si trattava d’un bossolo a prisma ottagonale, con una fessura su ogni faccia a 45°.[37] Perso a ridosso dell’ultimo conflitto, nel 1997 fu sostituito da un secondo esemplare affiorato in Spagna, durante gli scavi dei ruderi di una villa romana del III sec. d.C.. Il reperto, costituito da un tamburo cilindrico di bronzo, ha una altezza di circa 19 cm per 8 di diametro ed è scandito da sedici fessure, larghe circa mezzo millimetro, e disposte verticalmente ogni 22°30’. Perfettamente identico ai modelli ancora in uso nel secolo scorso, sottoposto a verifiche pratiche ha dimostrato che a 50 m di distanza il campo visivo permesso da una fessura non eccede i 40 cm, con un errore angolare non eccedente i 30’.

In alto, a sinistra: *Squadro agrimensorio romano del III sec..*
In alto, a destra: *Uno squadro similare ma del XVIII sec..*
Sopra: *Ricostruzioni virtuali degli stessi.*

36 Cfr. D. STROFFOLINO, L*a città misurata. Tecniche e strumenti di rilevamento nei trattati a stampa del Cinquecento,* Roma 1999, pp. 61-65.

37 Cfr. AA.VV., TRAIANUS. *Corpus artium munitorum romanorum*, ultimo aggiornamento 24 aprile 2007, versione elettronica http://traianus.redris.es, agrimensoria, topografia Romana, squadro agrimensorio.

3.7 Il corobate

L'esigenza di limitare la pendenza massima delle strade al 3% e degli acquedotti allo 0.1‰, stimolò la realizzazione di strumenti per le livellazioni di precisione, in seguito propriamente definiti *livelli*. Questi, a differenza delle *livelle* impiegate dai carpentieri e dai muratori, dovevano consentire levate altimetriche lungo tracciati di ragguardevole estensione, non di rado di centinaia di km. Dovevano essere, perciò, strumenti idonei alla stima per traguardo a discreta distanza, battute a volte di varie decine di metri, capaci cioè di valutare l'orizzontalità non di una lastra ma di una direttrice. Si ricorse, quindi, alla capacità dell'acqua di mantenere la sua superficie sempre perfettamente piana, quale che fosse il contenitore e la relativa inclinazione. Lo strumento derivatone, di gran lunga più noto ed affidabile, fu il *corobate* romano, ancora in uso in età rinascimentale come alcuni schizzi di Leonardo confermano. Stando a Vitruvio, il *corobate* va immaginato come una sorta di panca di legno, alta poco meno di un metro e lunga circa sei, munita di alcuni fili a piombo. Sull'asse superiore correva una scanalatura longitudinale lunga, a sua volta, circa un metro e mezzo, profonda e larga un paio di centimetri, che poco prima dell'impiego si riempiva completamente di acqua. Questo il brano[38]:

1- Ora spiegherò i mezzi per condurre l'acqua alle città ed alle abitazioni. La prima cosa da fare è di verificare le quote di livello. A tale scopo ci si serve della diottra, delle bilance appositamente costruite e del corobate. Quest'ultimo strumento è il più preciso; con gli altri ci si può ingannare. Il corobate si compone di un regolo, lungo all'incirca venti piedi; con due bracci uguali alle sue estremità, assemblati a squadra, e tra il regolo e questi due bracci stanno due traverse, fissate con tenoni, munite di linee perpendicolari; a queste linee si fanno coincidere i fili a piombo fissati da entrambi i lati del regolo. Questi fili a piombo, quando lo strumento è posizionato correttamente, devono coincidere perpendicolarmente con le linee tracciate sulle traverse, facendo vedere che lo strumento è ben a livello.

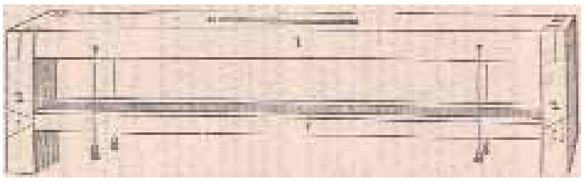
2- Se succede che il vento, spostando i fili a piombo, gli impedisca di fermarsi in maniera precisa, sarà necessario allora creare sulla superficie del regolo un canale lungo cinque piedi, largo un dito, profondo un dito e mezzo, e versarvi dell'acqua; se l'acqua tocca ugualmente i bordi del canale, vorrà dire che lo strumento è ben livellato. Così, con l'aiuto del corobate, sarà facile conoscere l'altezza dell'acqua.[A6]

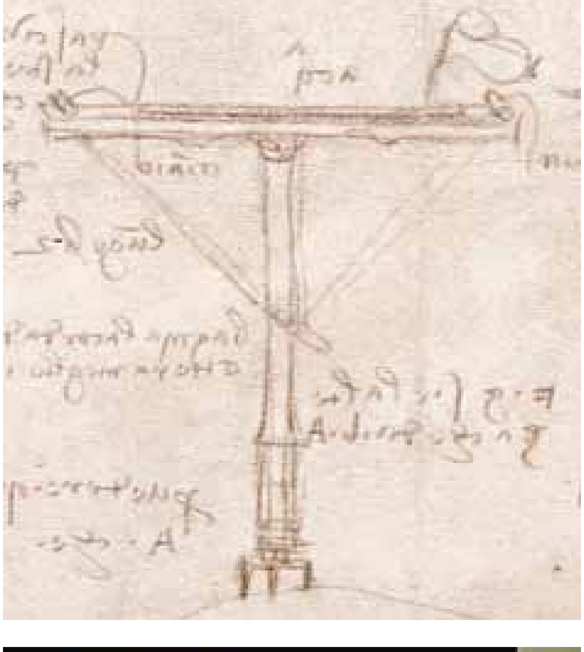
38 Cfr. VITRUVIO, *De architectura*, lib. VIII, 6.

Quando il *corobate* poggiava perfettamente in piano, l'acqua lambiva per intero il bordo della scanalatura; in caso contrario tracimava da una parte. Si ponevano allora, sotto la corrispondente estremità, degli spessori fino a quando l'acqua non avesse raggiunto tale equilibrio. A quel punto, traguardando lungo la superficie del liquido l'asta di riferimento graduata posta a discreta distanza, magari tramite adeguate mire, si definiva la direttrice orizzontale.

A6 Testo originale Allegato 6, in Allegati.

In basso, dall'alto: *Il corobate nel* De architectura *di Vitruvio, in un disegno di Leonardo da Vinci ed in una ricostruzione attuale.*





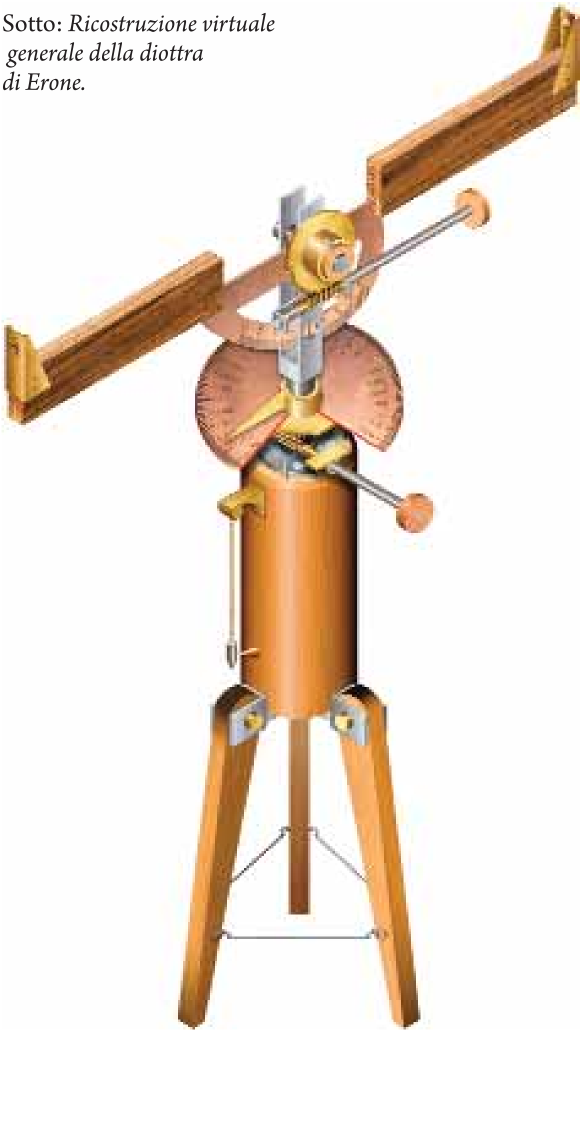
3.8 *La diottra di Erone*

Ovviamente, uno strumento topografico lungo sei metri riusciva troppo scomodo per essere impiegato proficuamente in campagna, senza contare che il vento e soprattutto la pioggia ne impedivano l'uso. Il vero salto di qualità si ebbe allorquando Erone riuscì a costruire la sua diottra che, montando un apposito accessorio al posto dell'alidada[39], si trasformava in un livello di rilevante precisione. Dal punto di vista etimologico, la voce diottra in greco è composta dai vocaboli *dià* = attraverso e *opteuo* = osservo: *osservo attraverso*, *guardo tra, traguardo* definizione calzante a qualsiasi apparecchio munito di risalti di mira, di pinnule tramite le quali consenta di collimare una direttrice, elementi che saranno sostituiti dal cannocchiale, subito dopo la sua invenzione. La diottra di Erone, sotto molti aspetti, deve considerarsi l'antenata del teodolite e del tacheometro, stando alla meticolosa descrizione tramandataci dallo stesso nel *Trattato della Diottrica*, che Venturi tradusse appunto col termine *traguardo*, in questi termini[40]:

La costruzione del Traguardo è come segue. Evvi un sostegno a foggia di piccola colonna, il quale à nella parte superiore un rotondo perno; intorno al perno sta un piattello circolare di rame; avente lo stesso centro col perno. Ponesi pure intorno al perno un cannoncello di rame; tale che possa girare speditamente intorno al medesimo: codesto connoncello, nella sua parte tiene attaccata una rotella dentata appoggiata sull'anzidetto piattello; e nella sua parte superiore à un plinto, ossia pezzo quadro, in maniera di raffigurare per eleganza un capitello Dorico. Alla suddetta rotella dentata si appone una piccola vite, i vermi della quale combinano coi denti della rotella; li piccoli sostegni della vite sono fissati al piattello, che è più grande della rotella. Se dunque gireremo la vite, muoveremo intorno eziandio la rotella dentata e il cannoncello aderente alla medesima; questo è aderente alla rotella per mezzo di tre piuoli che discendono che discendono dalla base di esso entro la rotella e si movon con essa. La vite à al lungo di se un solco incavato sino al fondo de' suoi vermi; onde se giriamo la Vite, sicché il Solco predetto vada rimpetto ai denti della rotella, questa sarà libera a moversi. Ponendo allora la rotell ove chiede il bisogno, giriamo poi di nuovo un poco la vite, in guisa d'implicarne i vermi coi denti, e così rendiamo immobile la rotella... Sul plinto di questo Capitello stanno due sostegni simili a piccole righe, distanti fra loro in maniera di potervi adattare frammezzo la grossezza d'una rotella; e sul plinto stesso fra le due righe evvi una vite aggirantesi, i piccoli sostegni di cui...

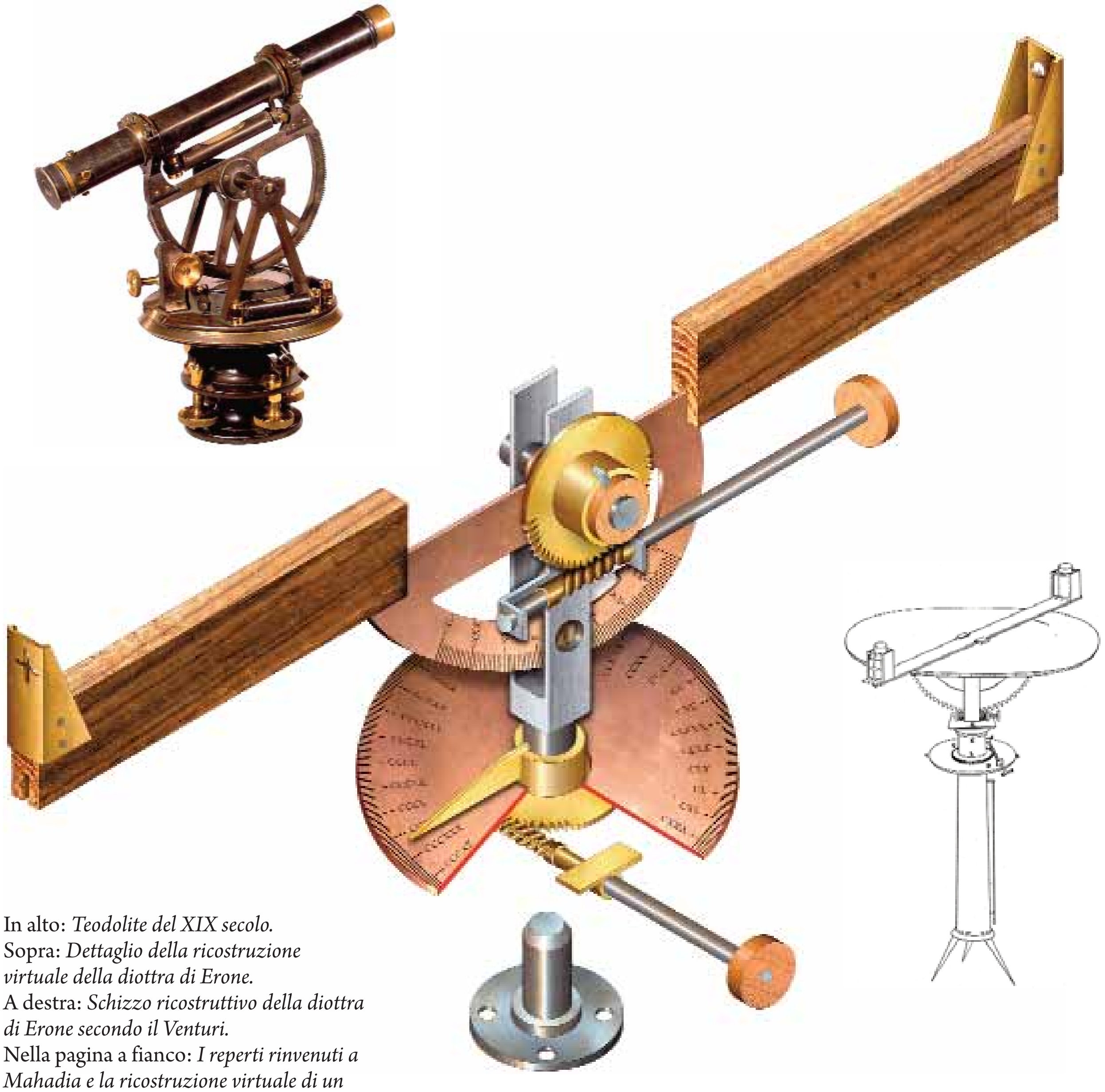
Al di là della forma, la diottra fu studiata per effettuare misure angolari mediante un'alidada, in grado di girare nei piani orizzontale e verticale per circa 180°. Due ruote semidentate, a loro volta poste in rotazione da una coppia di viti senza fine munite di manopole, consentivano l'una la collimazione azimutale, l'altra zenitale. Una sorta di foro oculare e di obiettivo a crocifila, applicati alle opposte mire dell'alidada, garantivano una notevole precisione al

Sotto: *Ricostruzione virtuale generale della diottra di Erone.*



39 Dall'arabo *al-hadad*: piccolo regolo rotante, imperniato nel centro di un cerchio graduato, in modo da consentire la stima degli angoli per traguardo.

40 Giambattista Venturi (Bibbiano 1746, Reggio Emilia 1822): allievo dello Spallanzani fu ordinato sacerdote nel 1769, divenendo ordinario nell'Università di Modena nel 1774. Fu per volere di Napoleone membro del parlamento della Repubblica Cisalpina, carica alla quale rinunciò nel 1798. Ordinario di fisica nell'Università di Pavia, trascorse i suoi ultimi anni dedicandosi a studi umanistici e scientifici.

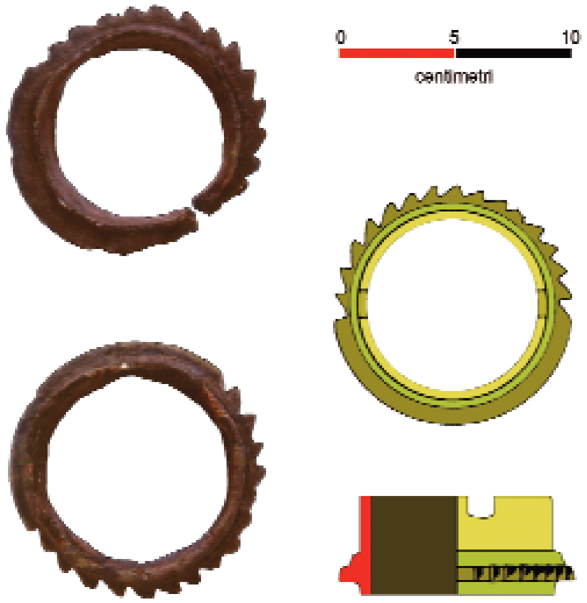


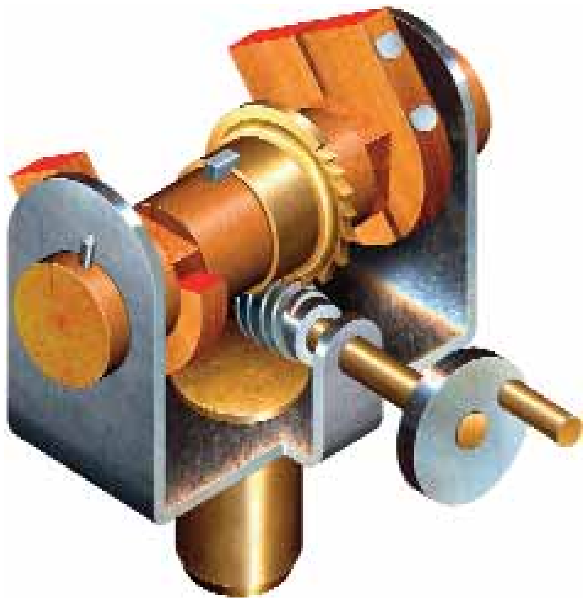
In alto: *Teodolite del XIX secolo.*
Sopra: *Dettaglio della ricostruzione virtuale della diottra di Erone.*
A destra: *Schizzo ricostruttivo della diottra di Erone secondo il Venturi.*
Nella pagina a fianco: *I reperti rinvenuti a Mahadia e la ricostruzione virtuale di un sistema d'ingranamento delle ruote con viti senza fine.*

rilevamento, forse persino superiore ai 30', mentre una colonnina a tripode, antesignano cavalletto, correttamente messa in stazione grazie a un filo a piombo disposto sul suo fianco, sosteneva stabilmente lo strumento.

Il Venturi, interpretando a suo giudizio una lacuna del testo, suppose che oltre al piatto goniometrico per le misure angolari in piano, vi fosse pure un semidisco verticale per la misura delle elevazioni, un settore graduato simile ad un inclinometro che suppose fissato al di sotto del piatto e ad esso solidale. Non essendoci, però, alcuna conferma né alcun'allusione esplicita al riguardo nell'esposizione pervenutaci, ci sembra più sensato immaginare che a ruotare verticalmente fosse il solo traguardo tramite un asse orizzontale, come già avveniva da secoli nelle catapulte, azionato dalla prima manopola e imperniato in una forcella munita di gradazione, a sua volta fatta ruotare sul piatto, tramite un asse verticale azionato dalla seconda manopola. Nel 1907, a largo di Mahadia presso Tunisi, venne rivenuto il relitto di una nave romana. Quando, molti decenni dopo, il suo carico potette finalmente essere recuperato, fra le numerose opere d'arte di rilevante pregio, furono rinvenute alcune flangie di bronzo, tra cui due semidentate.[41] Si trattava di una coppia simmetrica, senza dubbio destinata alla rotazione verticale ed orizzontale del traguardo di una diottra.

41 Cfr. F. RUSSO, *Tormenta. Venti secoli di artiglieria meccanica,* Roma 2002, pp. 223-227.





3.9 Il livello di Erone

Il livello descritto da Erone, era ottenuto sostituendo al regolo del traguardo un asse di legno, recante al suo interno un tubo di rame, le cui estremità fuoriuscivano formando una U. Ad esse stavano fissati due terminali cilindrici di vetro, per rendere visibile il liquido di riempimento, forse vino rosso, muniti di traguardi mobili. In breve due vasi comunicanti, con un doppio indice. Questa la traduzione del Venturi:[42]

...combinano coll'enunziato perno, e questi lunghi e concentrici al perno sporgono in alto quanto è quattro dita: Nell'intervallo che è fra li due sporti s'incastra una Riga in traverso, avente la lunghezza di quattro cubiti, larga e grossa così che combini coll'anzidetto spazio, dal quale eziandìo vien divisa per mezzo, quanto alla sua lunghezza. Nella faccia superiore della Riga è tagliata un canale, col fondo o concavo o rettangolare, di lunghezza tale che possa ricevere un tubo di rame avente la lunghezza della Riga di dodici dita. Al tubo di rame sono aggiunti a squadra nelle due estremità due altri tubi, di modo che sembra ripiegato, e l'altezza della svolta non è più di due dita. Indi chiudesi il tubo di rame entro la Riga, che in lunghezza combina col tubo stesso; sicché lo ritenga e presenti un aspetto più decente. Nelle anzidette svolte del tubo s'inserisce stretto all'una e all'altra un cannoncello di vetro, con diametro tale che combaci col tubo, ed alto circa dodici dita; poi si serrano i due cannoncelli nelle due svolte con cera o con altro stucco, onde l'acqua versatavi entro per uno dei due cannoncelli non possa da veruna banda spicciar fuori. Sulla Riga trasversale, colà dove sono i due cannoncelli di vetro, si mettono ad essi intorno due piccoli incassamenti, o pilastretti vuoti dentro, per mezzo ai quali passando i due vetri sono ritenuti al loro posto; e nei pilastretti medesimi s'adattano due laminette di rame, le quali possono scorrere in solchi, lungo le pareti de' pilastretti, radendo i cannoncelli di vetro, ed hanno in mezzo fenditure, per le quali si può traguardare. Alle anzidette laminette s'attaccano alla banda inferiore tubetti alti mezzo dito, ed a questi si assestano due assicelli di rame così lunghi, come è alto presso a ciascuno de' cannoncelli di vetro il pilistrato, il quale per un apertura s'insinua entro la Riga portante il tubo. Negli assicelli sono incisi i vermi d'una vite, ai quali si fanno le madri corrispondenti entro piuli fermati nella Riga. Se dunque Uomo volga intorno la parte degli assicelli sporgente al di sotto, essa moverà all'alto ed al basso le laminette che portano le fenditure; poiché la cima dell'assiccello verso la laminetta à un chiovetto che entra nel vano del tubetto attaccato alla medesima.

I suddetti cursori, erano in pratica due cravatte di metallo, collocate all'esterno dei tubetti di vetro e in grado di scorrervi sopra, ciascuna munita di una linea di mira. Loro tramite, non appena il liquido si stabilizzava era possibile effettuare la collimazione. Il regolo contenente il tubo è indicato lungo dapprima di 4 cubiti- circa 1.60, poi 12 dita- circa 25 cm, tradendo un evidente errore del copista. Sebbene dal

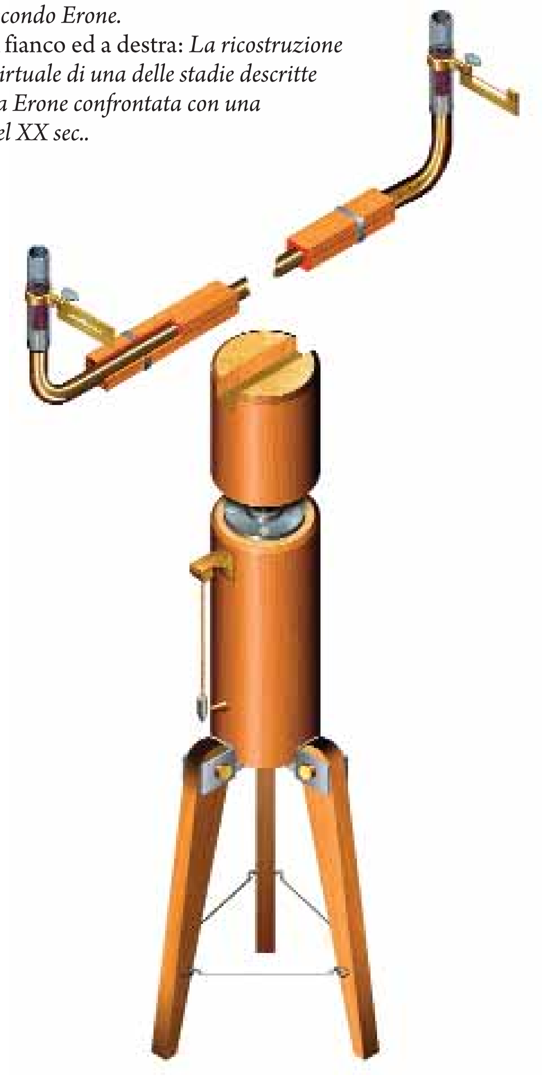
42 La traduzione è di G. VENTURI, *Commentarj...*, cit., pp. 82 e sgg.

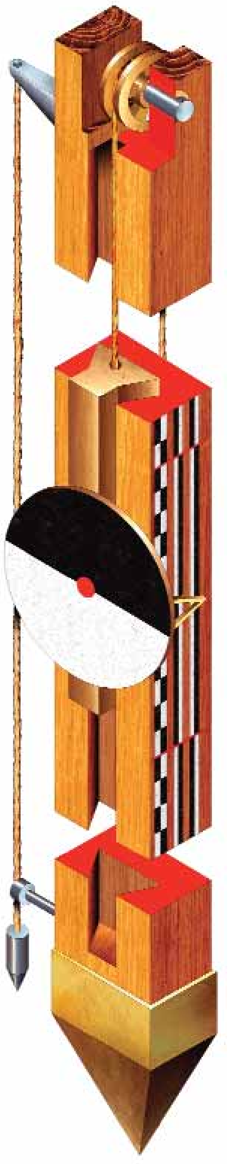
punto di vista funzionale la maggiore lunghezza garantiva una maggiore precisione, il maneggio molto più agevole dello strumento consentito dal regolo corto, lascerebbe propendere in suo favore, anche tenendo conto che l'impiego avveniva su brevi battute con due stadie. L'accessorio più interessante, e meno noto, del livello, infatti, è la coppia di stadie che lo completavano, come avviene nei moderni tacheometri. Così la traduzione del Venturi: [43]

...parleremo adesso delle righe e degli scudi che l'accompagnano. Si fanno due righe lunghe dieci cubiti l'una, larghe cinque dita, grosse tre. Nel mezzo della larghezza di ciascuna d'esse formasi una coda di rondine femmina, lo stretto della quale guarda all'infuori, ed in lunghezza pari alla riga. A questo incavo si adatta una piccola testuggine, che possa scorrervi al lungo liberamente ma non distaccarsene. Sulla piccola testuggine si inchioda uno scudetto avente in diametro dieci o dodici dita; e tirata per mezzo di esso in traverso una retta perpendicolare alla lunghezza della riga, si colora l'uno dei semicircoli in bianco, e l'altro in nero. Dalla piccola testuggine partendo una corda si rende per una carrucola situata nell'alto della riga alla banda posteriore d'essa riga, dove non è lo scudetto. Se dunque taluno ponga eretta sul suolo la riga, e tiri dalla banda di dietro la corda, leverà in alto lo scudetto; e se la rilasci, lo scudetto sarà premuto dal proprio peso al basso, portando esso dalla sua banda posteriore inchiodata una lamina di piombo, in modo che discenda da se medesimo. Quindi se riterremo la corda, lo scudetto ch'era lasciato discendere si fermerà a tal luogo della Riga che a noi piaccia. Dividasi poi la

43 La traduzione è di G. VENTURI, *Commentarj...*, cit., pp. 88-90.

Sotto: *Ricostruzione virtuale del livello secondo Erone.*
A fianco ed a destra: *La ricostruzione virtuale di una delle stadie descritte da Erone confrontata con una del XX sec..*





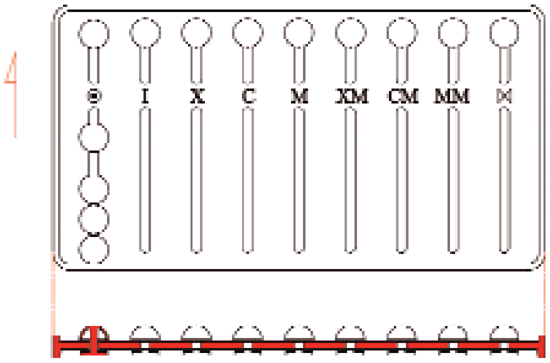
Riga, incominciando dalla testa del basso, esattamente in cubiti e palmi e diti, quanti ne riceve la sua lunghezza; e per le divisioni si tirino altrettante linee sulle parti della Riga che sono a destra dello scudetto: Questo avrà nella sua banda posteriore un Indice, che dal diametro accennato sopra dello scudetto va a cadere sulle anzidette linee tirate nella parte di costa della Riga. Le Righe si mettono perpendicolari esattamente sul suolo nella seguente maniera: nel loro lato di costa, che non à le divisioni, si pianta un piuolo lungo tre diti; verso la testa del quale si fa un foro dall'alto al basso, capace di ricevere un filo che porti attaccato un peso; e similmente al basso della Riga piantasi un piuolo così lungo com'è lontan dalla Riga l'anzidetto foro; sulla testa del qual piuolo inferiore si tira per mezzo una linea reatta all'alto. Quando il filo sopraenunziato combinerà con questa linea, esso metterà perpendicolare la Riga.

Ma, poiché senza il cannocchiale non si poteva leggere da lontano la gradazione delle stadie, Erone aggirò il problema consentendone direttamente la lettura. In pratica, traguardando le mire del livello, si portava a collimare con la loro direttrice uno scopo mobile lungo la gradazione della stadia, bilancitato da un contrappeso. Essendo costituito da un ampio disco con un indice laterale, bianco nella metà superiore e nero in quella inferiore, risultava agevole collimarne la mezzeria, facendolo sollevare o abbassare da un assistente fin quando la giunzione fra i due colori non fosse risultata allineata con le mire. A quel punto, bloccato il disco, il suo indice segnava il dislivello sulla gradazione laterale della stadia.

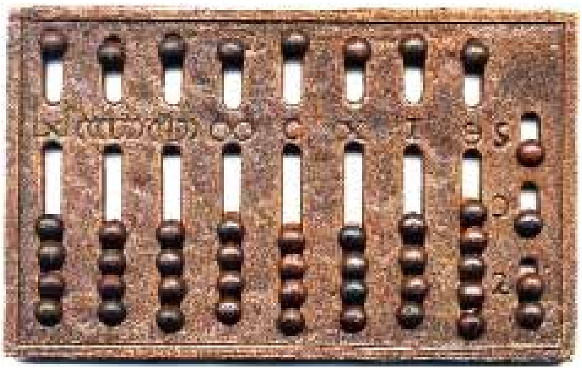
.

4. Conteggiare

La capillare organizzazione militare che per molti secoli sorresse l'istituzione imperiale romana ebbe, come presupposto e come corollario, una oculata gestione economica. Il controllo di quegli enormi flussi monetari richiedeva constanti conteggi che, per ovvie ragioni, non potevano effettuarsi solo sulle dita. Uno strumento capace di sopperire a quel fondamentale bisogno fu l'*abaco*. Utilizzava delle pietruzze, in latino denominate *calcoli* da cui l'accezione dei computi aritmetici, per eseguire le addizioni e le sottrazioni, operazioni alle quali si riconducevano anche le moltiplicazioni e le divisioni. La validità e la rapidità consentita dallo strumento a chi sa usarlo correttamente, è tale che ancora negli anni settanta, in molti supermarket sovietici, le casse utilizzavano abachi in luogo delle calcolatrici elettroniche!



Abaco romano (foto in basso) in prospetto e sezione.



4.1 L'abaco romano

L'origine dell'abaco, al pari della maggior parte delle invenzioni, si colloca forse intorno al V-IV secolo a.C., presso i Babilonesi. In età ellenistica l'ingegnoso strumento, razionalizzato e miniaturizzato a tal punto da stare nel palmo di una mano, si diffuse nell'area mediterranea. Precisamente si sa di una tavoletta di legno usata per eseguire conti chiamata *abak* dai Fenici, *avak* dagli Ebrei, *abac* dai Greci, *apcar* dagli Etruschi e, infine, *abacus* dai Romani. In lingua fenicia quel termine significava *polvere*, riferendosi allo strato di povere, deposto o spalmato su di una tavoletta, su cui con uno stiletto venivano tracciati i simboli per il computo.[44] Proprio in età romana l'abaco subì una ulteriore evoluzione, divenendo quello che poi resterà fino ai nostri giorni: un esemplare riaffiorato nel 1853 ne consente la dettagliata descrizione.

Si tratta di una piastrina di bronzo, lunga cm 11.5, larga 9.4, con nove scanalature parallele al lato minore, divise da una striscia centrale in due parti, in cui scorrono i bottoni, muniti di uno slargo posteriore che ne impedisce la fuoriuscita. Ogni scanalatura contiene cinque bottoni, tranne la prima che ne ha sei, disposti quattro nel segmento di sinistra ed uno in quello di

44 Da G. BOFFITO, *Gli strumenti della…*, cit., pp. 116-117.

destra. Quattro unità ed una cinquina per comporre uno dei primi nove numeri: il decimo sarebbe stato il solo bottone di destra della fila seguente. Per indicare il numero 7, ad esempio, si spostavano nella scanalatura delle unità due bottoni di sinistra e uno di destra (2+5). Le prime due scanalature, partendo da destra, sono riservate alle frazioni, relative soprattutto alla monetazione. La terza scanalatura è delle unità, la quarta delle decine, seguita poi da quella delle centinaia, delle migliaia, delle decine di migliaia, delle centinaia di migliaia e infine dei milioni.

4.2 Il mesolabio

Sempre alle costruzioni tecnologicamente avanzate, tipo le navi da guerra e le artiglierie elastiche, va ascritto un singolare regolo per l'estrazione della radice cubica. La necessità di tale operazione scaturiva dal rigido criterio che solo mantenendo costanti le proporzioni d'un congegno, rivelatosi estremamente efficace, non se ne decurtavano le prestazioni. Una nave o una balista potevano essere ingrandite o ridotte, a patto che tutte le componenti mantenessero fra loro le stesse proporzioni che avevano quelle originali. Il che determinava una domanda, apparentemente oziosa: quale misura avrebbe dovuto avere il lato di un cubo perché il suo volume fosse stato doppio di quello di un altro cubo noto? Da tale domanda, implicitamente equivalente all'estrazione di radice cubica, derivò una ricerca che vide coinvolti i massimi cervelli del mondo scientifico, divenuta presto celebre come *Problema di Delo*[45] che così rievoca Vitruvio:[46]

13- Spostiamo ora la nostra attenzione sui lavori di Archita di Taranto e di Eratostene il Cireneo. I matematici devono loro un gran numero di belle scoperte. Sebbene esse siano tutte interessanti, ve ne è soprattutto una, alla quale hanno lavorato, che merita la nostra ammirazione. Ciascuno di loro è pervenuto, per vie diverse, alla soluzione del problema che Apollo a Delo aveva chiesto nel suo responso: costruire un'ara cubica, il cui volume fosse doppio della sua al presente; solo così quelli che erano nell'isola sarebbero stati liberati.

14- Archita vi pervenne per mezzo dei semicilindri, ed Eratostene tramite il mesolabio.[A7]

Una ricerca più accurata sulle soluzioni proposte,

Daniele Barbaro in un ritratto di Paolo Veronese.

delle quali moltissime ottime per la precisione ma inapplicabili senza un'adeguata preparazione geometrica, fu compiuta da Daniele Barbaro.[47] Stando ad essa fu Ippocrate di Chio, vissuto tra il 460 ed il 380 a.C. e discepolo di Pitagora, che inventò uno strumento per la soluzione analogica del problema: definito *mesolabio* e simile ad un moderno calibro a due becchi, fisso il terminale e scorrevole l'altro, può essere considerato un lontano antenato dei vari regoli calcolatori e calcolatori analogici.[48] Così i dettami per la sua costruzione, lasciatici da Eratostene e tradotti dal Barbaro:[49]

Piglia una piana di legno, o di rame, più lunga che larga di figura quadrangolare, e d'angoli dritti e sia per esempio la tavola a b c acconcia poi tre lamette sopra di quella di qualche materia soda sottile, e polita, che siano quandrangolari, e di angoli dritti, di modo che una di quelle sia ferma nel mezo della piana, si che non si possa muovere né alla destra né alla sinistra e sia quella e f g h.

45 M. DAUMAS (a cura di), *Storia della scienza*, Bari 1969, vol. I, pp.188-191; se ne trova un esplicito riferimento anche nei disegni di Leonardo, *Codice Atlantico*, f.161r.
46 Cfr. VITRUVIO, *De architectura*, lib. IX, intr., 13-14.
A7 Testo originale Allegato 7, in Allegati.

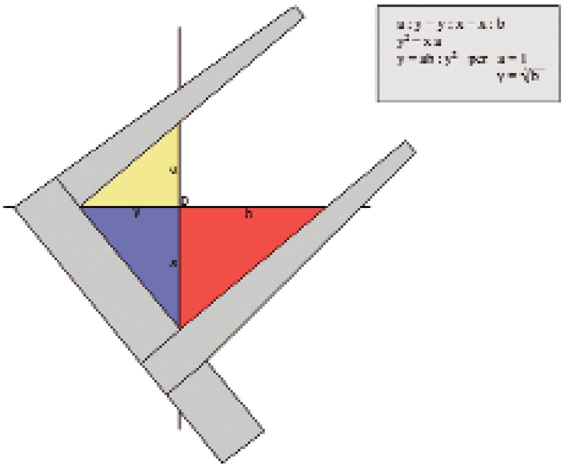
47 Daniele Alvise Barbaro nacque a Venezia nel 1513 e vi morì nel 1570. Fu un religioso ed un umanista, nonché studioso di filosofia, matematica ed ottica. Particolarmente importante la sua traduzione del *De architectura* di Vitruvio, pubblicata nel 1556 a Venezia col titolo *Dieci libri dell'architettura di M. Vitruvio*. Le illustrazioni vennero realizzate dal Palladio.
48 Al riguardo cfr. *Dizionario d'Ingegneria*, fondato da E. PERUCCA e diretto da F. FILIPPI, alla voce *calcolatore analogico*, Torino 1969, vol. II, pp. 311 e sgg. In breve: *"un calcolatore analogico diretto è un modello di sistema fisico, di realizzazione e trattamento più semplici che non quelli del sistema originale"*.
49 Cfr. al riguardo la traduzione di D. BARBARO, *I dieci libri dell'architettura*, Venetia 1567, pp. 368 e sgg..

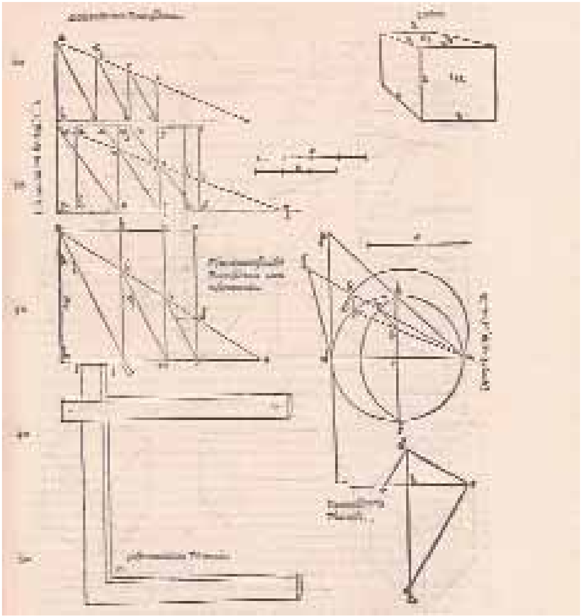
Habbia poi questa lametta a ne gli angoli suoi, ne i punti e ed f fitte due regole con i suoi pironi in modo che ciascuna si possa vuolge in ogni verso, e sia una regola e m e l'altra f n. Ma l'altra lametta sia k d e, che sia con le teste sue in un canale della piana si che possa scorrere verso la lametta e f g h e tenga questa lametta k d c. sopra il punto k. Una regola, che si possa volgere e alzare, e abbassare, come le altre e sia quella k o. e ossa esser parallela con le altre regole. e i loro communi tagli, che fanno con la a g. f h. e I. siano nella istessa dritta linea, m n o I. similmente la a m. sia eguale alla d k. Perché la a m. insensibilmente avanza la d k. Essendo queste così ordinate tra due linee a b. e c d. si danno due di mezo in continua proportione, che sono e n, e f o. per le sopradette ragioni.

Ma se per sorte le due proposte line, come sarebbe la s. e la t. alle quali bisogno sia ritrovarne due di mezzo in continua proporzione, non saranno eguali a quelle linee, che sono nello in strumento, a b e r d. facciasi col muovere secondo il bisogno la lametta h d c. tirandola verso la lametta ferma, o allargandola, e ponendola sempre egualmente distante: facciasi dico, che si come si ha la s, alla t. così si habbia la a b alla r d cioè se saranno la s, e la t tra se in proporzione doppia, o tripla, o sesquialtera, così siano tra se la a b e la r d. perché alla a b e r d che sono nello in strumento ritrovate, ritrovate si sono due di mezo proporzionate, seguita, che alla s e ala t. proposte trovate saranno due di mezo in continua proporzione.

Quanto più adunque artificioso sarà lo in strumento, e ben fatto, tanto più facilmente ci seruirà a ritirare le due proporzionali; però le teste delle lamette, che si muoueno entreranno ne i loro canali assettate, e si muoueranno dolcemente. Et se alcuno uorrà trovare più di due linee proporzionali, egli potrà con la aggiunta di più regole, e lamette farlo comodamente. E questa è stata la inuenzione di Eratosthene.

In pratica, portando a coincidere il becco mobile con un punto sull'asse orizzontale (le coordinate cartesiane erano ancora lontanissime da venire), proporzionale al valore di cui si vuole la radice cubica ed il suo spigolo interno con l'asse verticale, il punto di intersezione dell'altro becco sempre con l'asse orizzontale mantenendo però il suo spigolo interno sul verticale, forniva il valore cercato. La soluzione insisteva sulle corrispondenze fra dei triangoli rettangoli simili: il risultato va considerato un'approssimazione ottima per la riproduzione in scala.[50]





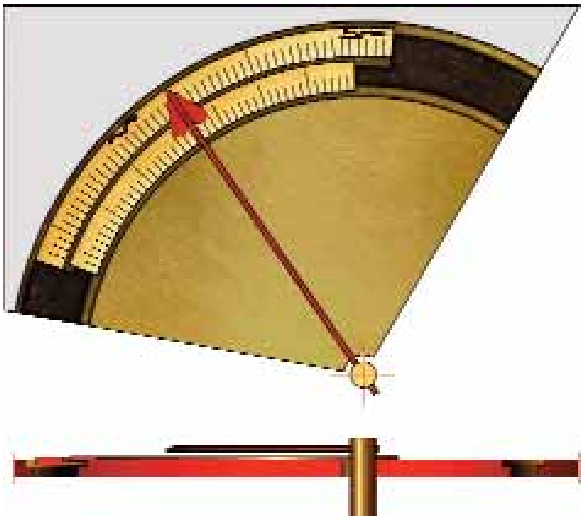
Dall'alto: *Ricostruzione virtuale del mesolabio; schema con formula matematica; illustrazione tratta dal volume di Daniele Barbaro.*

50 Del *mesolabio* vi è un fugace accenno in Vitruvio, *De architectura*, lib. IX, introd., senza alcuna descrizione.

4.3 Il calcolatore d'Antikythera

Il quadrante a scale multiple concentriche, sulle quali la rotazione di un indice definisce la grandezza in gioco, sistema ancora impiegato nei *tester* elettronici analogici, per quanto siamo oggi in grado di stabilire, debuttò intorno al I secolo a.C.. Così almeno testimonia un enigmatico reperto bronzeo, recuperato sui fondali dell'Egeo. Si tratta di un corroso frammento del rotismo di un complesso meccanismo, rinvenuto agli inizi del '900 presso l'isola di *Antikythera*, a ridosso di Cipro. Per oltre mezzo secolo il cimelio fu considerato un oggetto misterioso, dopo essere stato scambiato inizialmente persino con i resti di un vecchio orologio, affondato nel mare chissà quando e chissà come! In breve, però, se non altro la sua antichità fu assodata, ma fu solo agli inizi degli anni cinquanta che il professor Prince, dopo un sofisticato esame condotto con le più avanzate tecniche di indagine, pervenne a conclusioni sbalorditive. Il meccanismo, in base alle varie iscrizioni in greco ancora parzialmente visibili, rimontava al I secolo d.C. e, in

In queste due pagine: *Il professor Prince mostra una ricostruzione dello strumento; alcuni frammenti del calcolatore di Antikythera con scale graduate e iscrizioni in greco; ricostruzione virtuale dell'indice a lancetta su quadranti circolari a scale concentriche; ricostruzione virtuale della cassetta in cui era racchiuso.*



base ai rapporti fra le sue tante ruote dentate, doveva reputarsi un singolare strumento astronomico. Una sorta di calendario perpetuo meccanico che permetteva, agendo su complicati rotismi, di calcolare la posizione apparente di molti pianeti del sistema solare nonché le fasi lunari e le relative maree, dato quest'ultimo di trascurabile interesse per la navigazione nel Mediterraneo, ma basilare, invece, per le coste britanniche a causa della loro fortissima escursione. A questo scopo, una serie di ingranaggi trasferivano il movimento da una ruota, che rappresentava il ciclo solare, a un'altra, che indicava le rivoluzioni siderali della Luna, secondo il rapporto di 254 rivoluzioni lunari ogni 19 anni solari.[51]

Dal punto di vista strettamente tecnologico, due sono le caratteristiche più rilevanti del meccanismo. La prima è la complessità degli ingranaggi, almeno una trentina di ruote dentate di varia foggia e diametro, identificate nitidamente grazie alle radiografie eseguite sul reperto. La seconda, persino più stupefacente, concerne la presenza di un rotismo differenziale, cioè di un dispositivo che permette di produrre una velocità di rotazione pari alla somma o alla differenza di due velocità di rotazione date. Nel caso in questione la sua funzione sarebbe stata di fornire, oltre ai mesi lunari, anche le lunazioni, ricavate per sottrazione dal moto lunare siderale del moto solare. Un congegno del genere è accennato in un brano del *De re publica* di Cicerone che così recita[52]:

Invero questo genere di corpo celeste, nel quale ci fossero il moto del sole e della luna e di quelle cinque stelle che erano dette erranti e quasi vaganti, non avrebbe potuto essere riprodotto in quella sfera solida ed in ciò è da ammirare l'invenzione di Archimede, per il fatto che aveva escogitato in che modo, tra moti assai dissimili, una sola rotazione consentisse moti vari ed ineguali. Quando Gallo muoveva questa sfera, accadeva che in quello spazio la luna succedeva al sole con altrettante rotazioni quanti sono i giorni nello stesso cielo, e che da questo e nella sfera avveniva quella stessa eclissi di sole, e che la luna finiva in quel cono che è l'ombra della terra, allorquando il sole è dalla parte opposta.[A8]

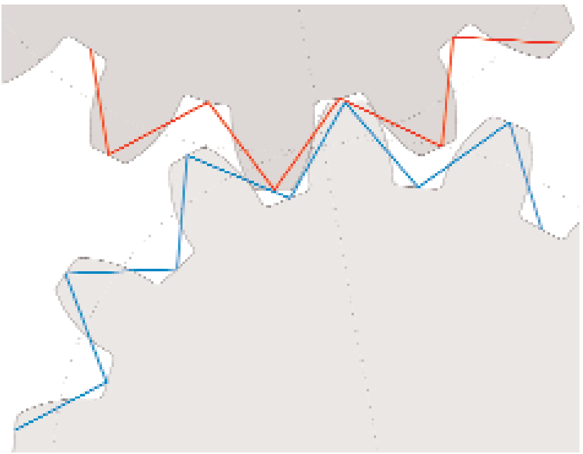
Quale che fosse l'effettiva destinazione del congegno, appare inoppugnabile la modernità del sistema escogitato per la lettura dei dati fornita su quadranti concentrici. Quanto al differenziale che, sia pure in maniera confusa sembrerebbe preconizzato anche

51 Cfr. P. JAMES, N. THORPE, *Il libro delle antiche invenzioni,* Milano 2001, pp. 135-137.

52 Cfr. CICERONE, *De re publica*, lib. I, 14.
A8 Testo originale Allegato 8, in Allegati.

negli schizzi di Leonardo, troverà una corretta formulazione soltanto nel XVIII, quando verrà brevettato. Per trovare, tuttavia, un suo concreto e vasto impiego si dovrà attendere la diffusione degli autoveicoli, agli inizi del secolo scorso. In ciascuno, infatti, se ne trova almeno uno, noto appunto come differenziale e posto fra le ruote motrici; due o tre sono, invece, nei fuoristrada 4x4 per compensare le relative diverse velocità angolari delle ruote in curva.

Un'ultima ma significativa osservazione va fatta circa la tipologia dei denti degli ingranaggi del meccanismo: sono triangolari per cui la trasmissione del moto avviene con esatta trasmissione dei rapporti numerici, ma troppo approssimata per un trasferimento energetico che ne avrebbe segnato rapidamente la consunzione.

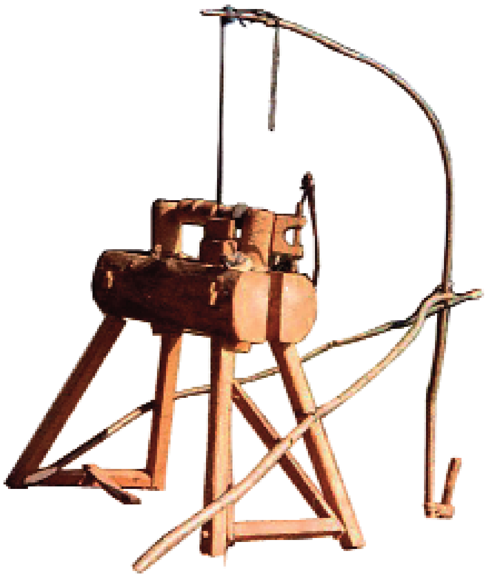


Sopra: *Raffrontro tra la dentatura dei moderni ingranaggi e quelli del reperto di Antikythera (indicati in rosso e blu).*

Sotto: *Ricostruzione di un tornio per legno, di epoca arcaica. e di un tornio egiziano per ceramica.*

5. Costruire

L'uomo iniziò a differenziarsi dagli altri animali quando iniziò a costruire oggetti che, fino a quel momento, in quanto tali, non esistevano in natura. Non un semplice sasso o un bastone raccolti da terra, capacità di cui danno prova molte altre specie, in particolare fra i primati, ma una cosa volontariamente modificata e adattata ad una precisa esigenza. Dopo le pietre, inizialmente scheggiate e poi lavorate con crescente accuratezza, fu la ceramica la basilare manifestazione dell'abilità dell'*homo faber*, resa ancora più regolare dall'invenzione del più arcaico utensile rotante: il tornio. Dalla plastica argilla del vasaio, con progressive modifiche, il tornio passò a lavorare il legno e poi il bronzo, variando la posizione del suo asse da verticale ad orizzontale ed assumendo la connotazione precipua che ancora si scorge negli attuali.



5.1 Il tornio: l'utensile per costruire

Per costruire un qualsiasi oggetto, in qualsiasi epoca, furono necessari attrezzi e utensili che, col passar del tempo, si accrebbero per numero e si differenziarono per caratteristiche. Alcuni poi, si imposero per la realizzazione di congegni nonché di utensili più sofisticati, restando da allora imprescindibili nella meccanica: di tutti il più complesso e determinante fu, senza dubbio, il tornio. Il suo archetipo embrionale si ravvisa nel disco rotante usato dai vasai che, perfezionato in età ellenistica e nel periodo immediatamente successivo, attinse l'aspetto e le potenzialità che avrebbe mantenuto fino al XVIII

secolo, quando fu avvicendato dai similari, azionati però da motori termici e quindi elettrici.

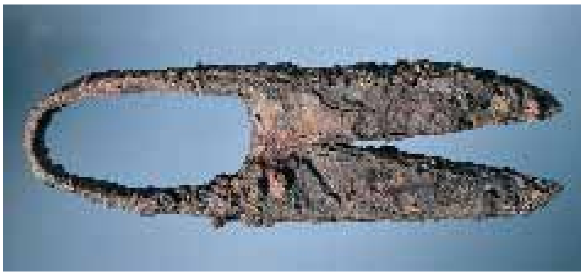
Per quanto è stato possibile datare, la ruota da vasaio o tornio per ceramica, risale al IV millennio a.C. e comparve in Mesopotamia. Grazie ad essa per la prima volta dei manufatti assunsero la simmetria e la regolarità tipiche del *non fatto a mano!* Dapprima una modesta tavola, poi un piatto circolare girato con le mani e infine un disco superiore solidale con uno maggiore e più pesante, fungente da volano, collocato in basso e posto in rotazione con i piedi: queste le tappe alle spalle del tornio per vasaio. La modellatura divenne così il *tornaggio*: col tempo s'applicò anche al legno e poi ai metalli.[53]

L'utensile, a quel punto, del suo remoto archetipo conservava soltanto la rotazione, peraltro neppure più continua ma alternativa in un verso e poi nell'altro, scaturendo dall'incessante andirivieni di una frusta, tirata da una staffa a pedale e recuperata da una molla. Il tornio propriamente detto, consisteva in un albero rotante orizzontale, cui si fissava per incastro il blocco di legno da lavorare. I ferri per sagomarlo, simili a scalpelli, erano poggiati su un apposito supporto. Dal legno si passò presto ai metalli, occorrendo soltanto disporre di una macchina appena più potente e precisa. E le modeste tolleranze d'un gran numero di reperti archeologici di bronzo, insieme alle caratteristiche rigature lasciate dal ferro, ne testimoniano l'avvento e la validità. Quanto alla diffusione, è interessante ricordare che anche Pompei ebbe un'officina di tornitore, ritrovandosi nel 1878 fra i ruderi di un edificio: "*quindici scalpelli di ferro per lavorare al tornio; e due ordigni che hanno da un lato un ferro, acuminati, i quali, piazzati uno dirimpetto all'altro, venivano armati sul tornio per lavorare il legno*".[54]

5.2 I supporti a basso attrito

Già per la costruzione del preistorico tornio da vasaio fu necessario escogitare dei cuscinetti, per ridurre l'attrito della rotazione: nella fattispecie si trattò di rozzi anelli di pietra lubrificati con la stessa mota.[55] Il problema si ripropose più stringente con

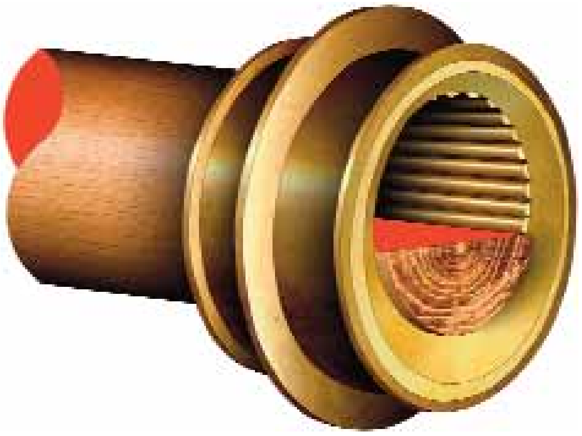
53 Cfr. E. CERULLI, V. L. GROTTARELLI, *Industrie e tecniche,* in *Ethnologica. L'uomo e la civiltà,* Milano 1965, vol. II, pp. 540-44.
54 Da M. DELLA CORTE, *Case ed abitanti di Pompei,* Napoli 1965, p. 84, nota 1.
55 Cfr. A. MONDINI, *Storia della tecnica,* vol. I, *Dalla preistoria all'anno Mille,* Torino 1973, p. 117.

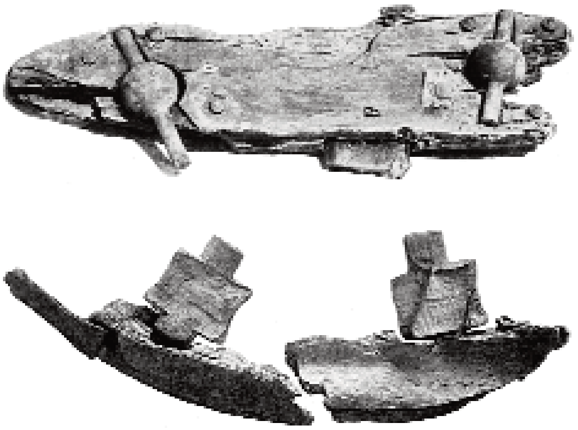


A fianco: *Alcuni reperti provenienti da Pompei e da Ercolano, relativi ad attrezzi ed utensili da lavoro.*

i mozzi delle ruote dei carri da guerra che, girando su assi fissi, senza una continua lubrificazione e un adeguato cuscinetto si surriscaldavano fino a bruciare rapidamente. Per eliminare tale evenienza si escogitarono un gran numero di soluzioni, di tutte però la migliore fu quella dei Celti, che consisteva in una serie di rulli disposti fra il mozzo e l'asse, messi in maniera tale che non ne potessero fuoriuscire. Il criterio non solo dovette trovare seguito presso i Romani, ma fu alle spalle di numerose derivazioni come, ad esempio, le piattaforme rinvenute sui relitti delle navi di Nemi[56] montate su cuscinetti a rulli e a sfere di rilevanti dimensioni. La loro collocazione fra piste di rotolamento orizzontali, fissa l'inferiore e rotante la superiore, fece immaginare un basamento mobile per preziose statue, sebbene sembra più plausibile, invece, un supporto per gru brandeggiabili, senza dubbio utili per le operazioni di carico.

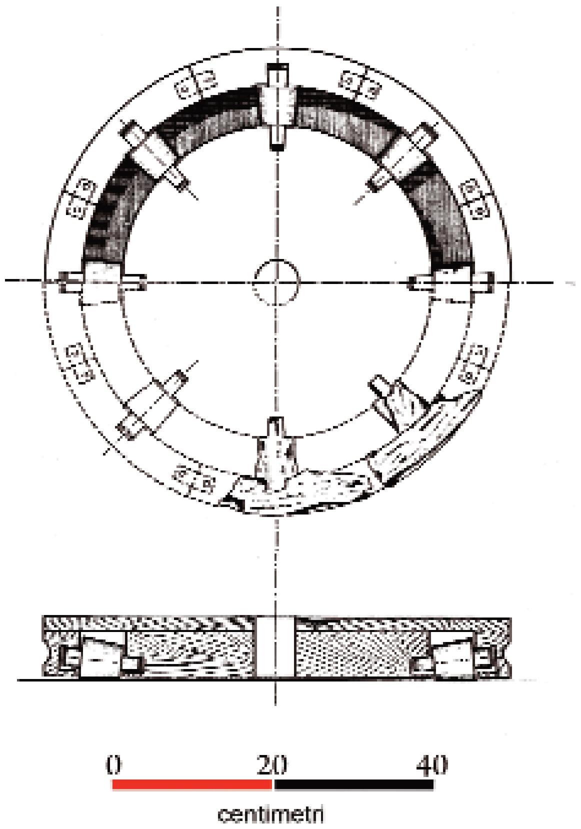
Di diversa concezione la coppia di cuscinetti rinvenuta ad Ercolano. Servivano l'asse d'una noria delle terme, erano di bronzo e di forma lenticolare ed il loro bordo poggiava in un'apposita fessura, incisa in una massiccia piastra anch'essa di bronzo, abbondantemente lubrificata e forse munita di rulli cilindrici inclinati.





56 Cfr. G. UCELLI, *Le navi di Nemi,* Roma 1950.

Sotto: *Un moderno cuscinetto a sfera in una vista esplosa.*
A fianco, dall'alto: *Ricostruzione virtuale di cuscinetto a rulli in un mozzo di carro celtico; reperti delle navi di Nemi: si tratta di rulli e sfere che facevano parte di una piattaforma come quella ricostruita schematicamente sotto.*



Più elaborati gli spessi cardini di bronzo dei grandi portoni, simili a flangie, che dovevano contemporaneamente sorreggere il peso dei battenti e agevolarne la rotazione. Realizzati al tornio con notevole precisione, giravano su piste di bronzo incastrate nelle soglie e fissate con piombo fuso.

6. Sollevare

La forza di gravità che docilmente azionava i rudimentali motori a contrappeso, si opponeva però in maniera esasperante al sollevamento di ogni oggetto, liquido o solido che fosse, di discreta mole, dalla carcassa di una grossa preda ad un tronco d'albero abbattuto. Gradatamente si escogitarono in ambito navale delle macchine elementari, dapprima capaci soltanto di smuovere lateralmente le imbarcazioni, quindi di sollevarne di sempre maggiori. Il trasferimento alla cantieristica terrestre fu rapidissimo.

6.1 Le gru ed i paranchi

I Romani, come fanno fede tantissimi bassorilievi e, più ancora, le innumerevoli grandiose costruzioni pervenuteci, conoscevano ed impiegavano in abbondanza una vasta gamma di gru. Ovviamente erano tutte azionate dalla sola forza muscolare, variamente moltiplicata, con pulegge e taglie correlate fra loro. In quelle di maggiore potenza il motore era una grande ruota calcatoia o, a volte, un cabestano.[57] La prima, simile ad una gigantesca gabbia di scoiattolo, era posta in rotazione da squadre di schiavi, che si arrampicavano continuamente al suo interno. Crescendo il suo diametro, cresceva il suo braccio e crescendo il numero degli schiavi, la massa ad esso applicata: anche senza saperne calcolare i kgm, risultava facile, con un minimo di esperienza, dimensionarla per l'impiego programmato. In ogni caso se insufficiente non girava!

In realtà, però, come ha dimostrato la notevole sopravvivenza di tale macchina ancora in funzione agli inizi del XX secolo col nome di *ruota del cavapietre*, la sua potenza aveva dei limiti precisi, non potendola azionare più di cinque uomini, almeno nei modelli più frequenti. La ruota, comunque, forniva la più rapida trasformazione del movimento muscolare in moto rotatorio continuo, ma per configurazione

Sopra: *Cardini antifrizione in osso ed in bronzo con piastre di rotolamento rinvenuti ad Ercolano.*

Sotto: *Bassorilievo funebre della tomba degli Haterii, raffigurante una grossa gru a ruota calcatoia.*

57 Cfr. G. DI PASQUALE, *Tecnologia e meccanica…*, cit., pp. 169-208.

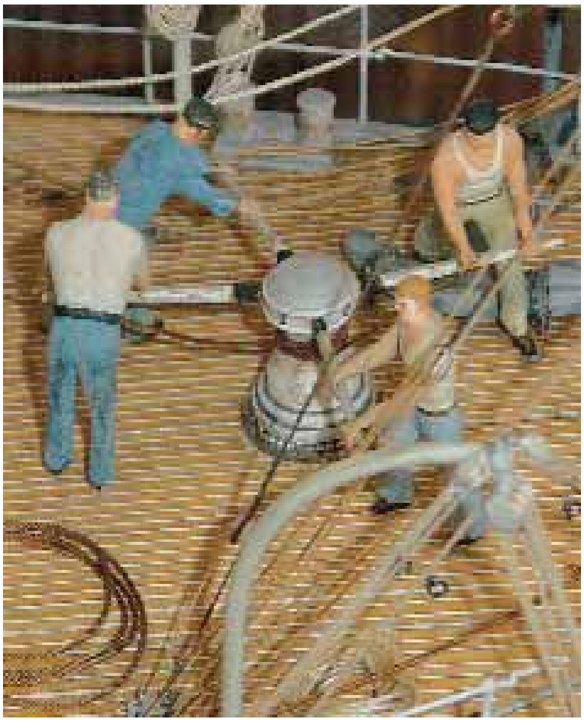
Sopra: *Confronto tra la ricostruzione di una gru di epoca romana ed un moderno derrik.*
In basso: *Ricostruzione di una delle gru descritte da Vitruvio.*

strutturale non poteva equiparare la potenza erogata da un grosso cabestano.[58]

Questo, in sostanza un argano ad asse verticale, potendo montare stanghe più lunghe e numerose di quello ad asse orizzontale e, soprattutto, risultando analogo lo sforzo esercitato su ciascuna perché identica la posizione relativa dei serventi, non di rado era azionato anche da varie decine di uomini, erogando potenze vistosamente superiori all'altro ed alla stessa ruota calcatoia. Tuttavia, che il motore fosse una ruota, un argano od un cabestano, la struttura delle gru non differiva granchè e somigliava, in sostanza, alle odierne a *derrick*, e come queste riuscivano a modificare l'inclinazione del braccio in una escursione di circa 50°, ma ben poco il brandeggio, a causa degli ancoraggi. Vitruvio così ne descrive tre tipologie:[59]

Iniziamo la spiegazione di quelle cose di cui si parla raramente, onde farle ben conoscere. Cominceremo dalle macchine il cui impiego è indispensabile per la costruzione dei templi e degli edifici pubblici. Si preparano tre travi di legno proporzionate ai cariche che devono sollevare. Si giuntano insieme mediante un ceppo, poi le si drizzano e le si divaricano in basso, dopo aver legato alla loro testa delle corde che vengono ancorate all'intorno per mantenere la macchina eretta e stabile. Si attacca

58 Il vero limite dipendeva soprattutto dal numero di uomini che poteva essere impiegato in ciascuna macchina, di gran lunga inferiore nella ruota rispetto alle stanghe del cabestano.
59 Il tipo di gru romana a braccio inclinato sostenuto da numerose corde, che ne consentono pure la variazione dell'inclinazione, viene attualmente definito gru a derrick. Gli esemplari maggiori montano bracci che possono raggiungere varie decine di metri e carichi di diverse tonnellate. Appartengono a questa tipologia di gru anche i picchi di carico d'impiego navale. Per la citazione cfr. VITRUVIO, *De architectura*, lib. X, 2, 1-9.



Sopra a sinistra: *Elemento di verricello ritrovato a Pompei.*
Sopra: *Plastico con marinai intenti alla manovra di un moderno cabestano, concettualmente derivato dal verricello romano.*

sulla sua sommità un paranco, chiamato da qualcuno anche rechamus. È composto da due taglie, di cui una superiore con due pulegge che girano su dei perni. Intorno alla prima puleggia della superiore si fa passare una fune che si tira fino alla puleggia della taglia inferiore, intorno alla quale si fa passare per mandarla alla seconda puleggia della taglia superiore; poi la si fa discendere alla taglia inferiore, fissandola ad un suo perno; l'altro capo della fune è lasciato alla base della macchina.

2-Nella parte posteriore dei travi di legno quadrati, dove sono più divaricati, si fissano due anse, che alloggiano l'estremità dell'asse di ferro del verricello, in modo di farlo girare. Questo verricello, verso entrambe le estremità ha due coppie di buchi, disposti in modo che delle leve vi possano entrare. Dalla parte inferiore del bozzello più basso, sono fissate delle tenaglie di ferro, i cui rebbi vanno ad infilarsi nei fori appositamente realizzati sulle pietre. Quando il capo della fune è tirato dal verricello che le leve pongono in rotazione, la fune si vi attorciglia, si tende e fa sollevare il carico, fino all'altezza dove deve essere posizionato.

4-Dopo di ciò, si attaccherà saldamente una taglia alla sommità della macchina, da dove si farà scendere la fune [del verricello] *verso l'altra taglia attaccata a un palo; si farà passare la fune intorno alla puleggia della taglia inferiore per farla risalire fino alla puleggia della taglia fissata alla testa della macchina, e li si bloccherà. Il verricello mosso dalle leve farà lui stesso drizzare la macchina, senza alcun inconveniente, che si manterrà stabile e salda grazie alle corde disposte al suo intorno ed alle corde attaccate ai pali per trattenerla. Si potrà allora, come innanzi detto, servirsi dei paranchi e delle funi che servono a sollevare.*

5-Se nel corso di un lavoro si incontrano dei carichi di grandezza e di peso enormi, non si dovrà in alcun modo servirsi del verricello; nelle anse che lo tengono, occorrerà farvi passare un assale, al centro del quale vi sarà un grande timpano, chiamato ruota dai Romani e amfireusis ou peritròxion dai Greci

6-In queste macchine, i paranchi sono di un'altra forma: tutti e due le taglie, quella alta e quella bassa, hanno un doppio ordine di pulegge. Si passa la fune intorno all'anello della taglia inferiore, fin quando i due capi una volta tesi siano d'uguale lunghezza. Là, dietro la taglia inferiore, si fisserà saldamente la fune con molte spire di una cordicella: le due parti saranno così bloccate in modo che non potranno spostarsi né a destra né a sinistra. Le teste della fune sono quindi portate nella taglia superiore

dove si fanno passare, dal lato esterno, intorno alle seconde pulegge, per rimandarle in basso, e farle passare intorno alle pulegge della taglia inferiore dalla parte interna, e farle ritornare, destra e sinistra, ancora una volta in alto, dove si fanno passare sulle prime pulegge.

7-Dopo averle fatte passare per il lato esterno le si rimandano, destra e sinistra, all'asse del timpano, dove vi sono fissate. Allora, un'altra fune, dal timpano intorno cui è avvolta, si dirige verso un cabestano. Nello stesso tempo che questa fune è recuperata dal timpano tramite la rotazione del cabestano, le funi fissate all'asse della macchina, si tendono e così sollevano lentamente il carico, senza pericolo. Volendo, si può evitare l'uso del cabestano e usando un timpano più grande e facendolo girare da alcuni uomini che vi si arrampicano all'interno, sia al centro che a un'estremità, con risultati persino maggiori.

8-Vi è un'altra macchina assai ingegnosa; è di uso rapido, ma non può essere manovrata se non da esperti. Si tratta di un lungo trave di legno, che si posiziona e si blocca mediante quattro tiranti di corda. Al centro della sua sommità, dove stanno fissate le corde degli ancoraggi, si collocano due anse nelle quali si fanno passare le corde che trattengono la taglia del paranco. Questa si vincola ad una sbarra lunga circa due piedi, larga sei dita e spessa quattro. La taglia presenta disposte una di fianco all'altra, tre pulegge, di modo che tre funi attaccate alla sommità della macchina discendono alla taglia inferiore, e passano dal lato interno all'esterno intorno alle prime tre pulegge. Si rimandano, quindi, alla taglia superiore per farle passare, dall'esterno verso l'interno, sulle pulegge più basse.

9-Da lì, le funi scendendo alla taglia inferiore, passano dall'esterno verso l'interno delle seconde pulegge, e tornano in alto per passare sulle pulegge del secondo ordine, da dove ridiscendono per risalire ancora, e dopo essere passate intorno alle pulegge dell'ultimo ordine, discendono ai piedi della macchina. Ai piedi della macchina si trova una terza taglia che i Greci chiamano epagòn, ed i Romani artemon. Questa taglia, che è fissata alla base della macchina, ha tre pulegge nelle quali passano le tre funi, che vengono fatte tirare dagli uomini. Così tre file di uomini, senza bisogno di alcun cabestano, possono tirare e sollevare rapidamente i carichi.

10-Questa specie di macchina si chiama polispastos, perché con l'aiuto di un gran numero di pulegge, si solleva un rilevante carico con grande facilità e rapidità. L'impiego di un'unica trave consente di darle l'inclinazione voluta, a destra o a sinistra, potendo perciò depositare il carico anche sui lati. Tutte le macchine descritte possono servire a caricare e scaricare le navi, alcune posizionate verticalmente, altre orizzontalmente su telai di legno facili da spostare. Si può ancora, senza innalzare l'albero, stendere a terra le stesse funi e le stesse pulegge, e servirsene per tirare le navi a terra.[A9]

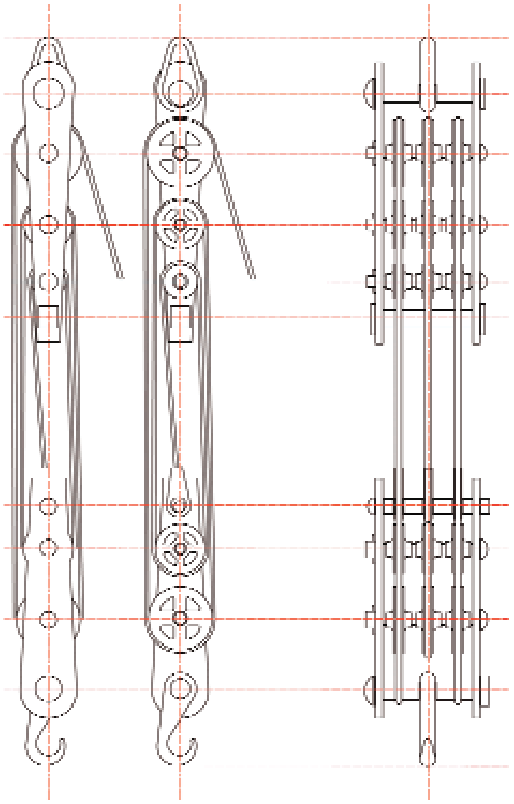
Ricostruzione virtuale di una delle gru descritte da Vitruvio.

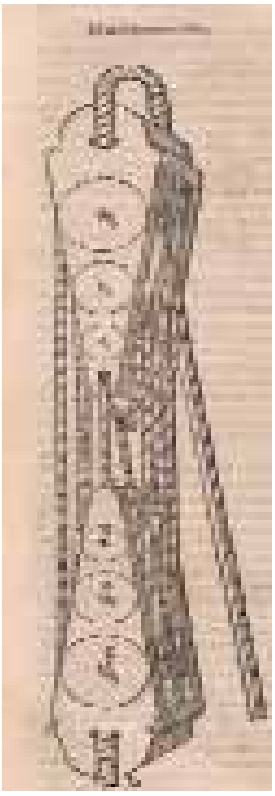
In sintesi, le prime tipologie tramandateci da Vitruvio, trovavano impiego nelle costruzioni pubbliche e nei porti, per le operazioni di carico e scarico. A confermarlo tanti bassorilievi, spesso estremamente dettagliati. La terza tipologia che risulta, per molti aspetti, la più semplice, era costituita da un montante verticale, ancorato tramite quattro tiranti, e da un braccio brandeggiabile. Complessivamente appare persino più affine dei precedenti, sebbene in miniatura, ai *derrick* e trovava impiego in ambito militare, per lo spostamento delle grosse macchine da lancio e per l'armamento navale.

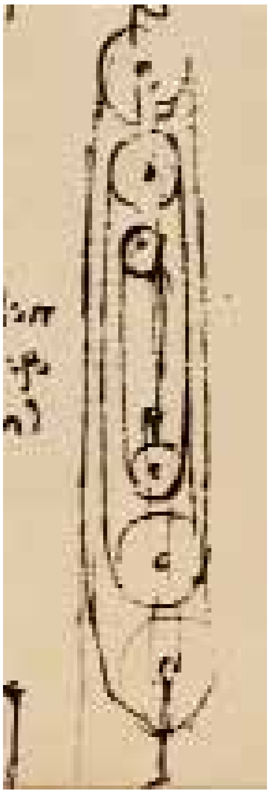
6.2 Il paranco a taglie

Assodato che, in sostanza, le gru romane differivano fra loro solo per dimensioni e sistemi motori, va evidenziato che l'elemento comune a tutte era un paranco di due taglie a pulegge. Vitruvio ne ricorda di tre tipi, rispettivamente a tre pulegge, a cinque ed a un numero maggiore. D'ambedue le prime, poi, se ne costruivano versioni che montavano taglie con le pulegge disposte in linea o affiancate, e taglie con più pulegge affiancate e in linea, che arrivavano a contare persino più di 15 pulegge. Quale che fosse la disposizione delle pulegge nelle taglie, il paranco

A9 Testo originale Allegato 9, in Allegati.





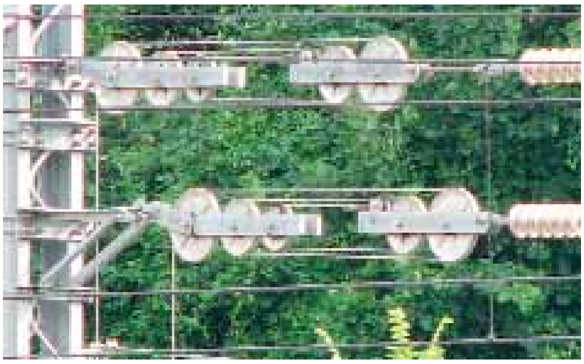


che ne contava tre viene ricordato con la denominazione di *trispastos*: di esse due stavano nella taglia superiore fissa e una nella inferiore mobile, recante il gancio. Il paranco che, invece, ne contava cinque era il *pentaspastos*: di esse tre stavano nella taglia superiore fissa e due nell'inferiore mobile.

Più complesso ed articolato l'accennata taglia a più ordini detto *polispastos.* Così Vitruvio prosegue al riguardo:

3-Il paranco nel quale agiscono tre pulegge si chiama trispastos, quando ne ha cinque di cui due alla taglia di sotto e tre in quella di sopra si chiama pentaspastos. Se si vogliono realizzare paranchi capaci di sollevare maggiori carichi occorrerà servirsi di travi di legno più lunghi e più spessi, ed aumentare in proporzione in alto la grandezza dei perni, e in basso la potenza del verricello. Dopo questi preparativi, si comincia con l'attaccare, prima che siano tese, le corde destinate a sostenere la macchina; poi per evitare che le travi di legno dove sono fissati gli ancoraggi indietreggino, si metteranno altre corde che, nella miglior maniera, si legheranno intorno alle travi alle quali daranno un determinato grado d'inclinazione e, quindi, con dei picchetti fatti penetrare a colpi di mazza, si fisseranno a terra.[A10]

A10 Testo originale Allegato 10, in Allegati.



In alto a sinistra: *Ricostruzione schematica in prospetti laterali, frontale ed in sezione del pentaspaston descritto da Vitruvio.*
In alto a destra: *La ricostruzione di Daniele Barbaro del pentaspaston di Vitruvio confrontata con un disegno di Leonardo.*
Sopra: *Lo stesso paranco utilizzato oggi per le linee aeree dell'alta velocità delle ferrovie.*

Le applicazioni del paranco, sia con le pulegge in linea che affiancate, non solo non sono scemate nel tempo ma si sono ulteriormente moltiplicate e divaricate. Si va dalle colossali gru dei porti marittimi o dei mezzi di soccorso, alle piccole taglie per uso domestico, capaci in ogni modo di alzare vari quintali. Non mancano poi impieghi per lo meno curiosi ed inaspettati: al riguardo basti pensare che i cavi aerei ad alta tensione per l'alimentazione del treno ad alta velocità, sono mantenuti tesi da un contrappeso che aziona *pentaspastos* in linea!

7. Trasportare

7.1 Gli imballaggi ruotati

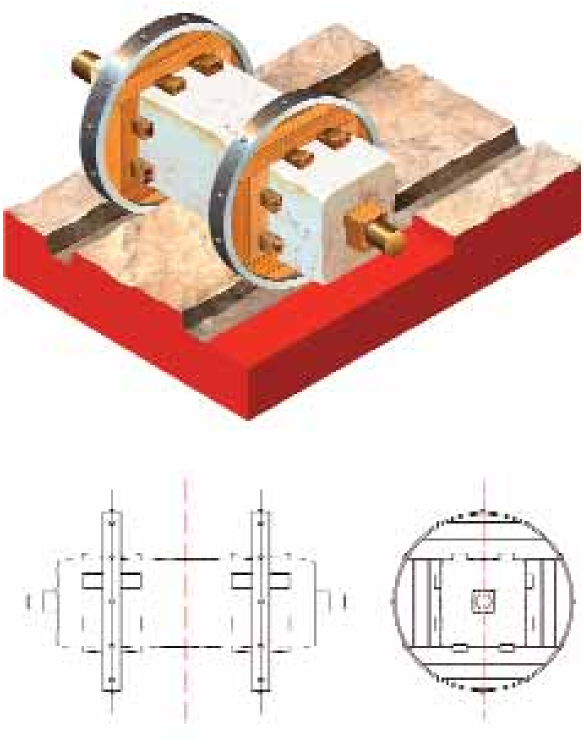
Per molti studiosi, alle spalle dell'evoluzione delle piste terra battuta in vere strade basolate, si ravvisa la necessità di sopportare i carichi concentrati dalle ruote. Non può escludersi che la stessa esigenza sia alle spalle anche di una soluzione alternativa, ideale per grandi carichi, a sua volta suggerita proprio dallo sprofondare delle ruote nel fango: due solchi paralleli idonei a contenere il bordo delle ruote, incisi direttamente nella roccia o in grandi basoli. Questa forse la spiegazione degli enigmatici binari primitivi, numerosi e ben conservati sull'isola di Malta, i cosiddetti *cart-ruts,* propriamente detti *dispositivi incisi per ruote guidate*. In pratica, solchi distanziati di circa m 1.40 e profondi una decina di centimetri, con uno sviluppo complessivo di oltre un centinaio di chilometri.

Probabile, inoltre, che tra gli stimoli della preistorica invenzione abbia giocato anche il megalitismo, che appunto a Malta conobbe estrinsecazioni sbalorditive. In tal caso appare sensato supporre che i mezzi utilizzati per il trasporto degli enormi blocchi fossero, in sostanza, simili a quelli ricordati pure da Vitruvio che li attribuì all'architetto Eleusi, e dei suoi colleghi Chersifrone e Mutagene, per la costruzione dei templi del VI secolo a.C. L'idea, in tal caso, stando a Vitruvio sarebbe sopravvissuta oltre un millennio, conferma implicita della sua sicura validità. Egli così scrive al riguardo:[60]

11-Non è fuori luogo proporre l'invenzione ingegnosa di Chersifrone. Questo architetto voleva trasportare dei fusti di colonna ad Efeso, dalle cave da cui venivano estratti al sito dove si stava costruendo il tempio di Diana. Temendo che il peso del carico e la poca solidità della pista non fossero adeguati per le ruote, ecco l'espediente che escogitò. Quattro travi di legno, di quattro piedi quadrati di sezione, due poste trasversalmente e due longitudinalmente, uguali per dimensioni rispettivamente alla lunghezza e al diametro di ogni fusto di colonna, gli furono saldamente fissate intorno. Alle teste del fusto le fissò con dei perni di ferro a forma di coda di rondine bloccati col piombo, e conficcò nelle traverse degli anelli di ferro per farvi passare gli assi. Inoltre egli attaccò all'estremità della macchina, dei timoni di legno con delle catene alle quali avvinse dei buoi. Gli assi,

Solchi paralleli incisi nella roccia a Malta con probabile funzione di guida-ruote per grandi carichi. Da notare gli incroci e gli scambi.

60 Cfr. T. K. DERRY, T. I. WILLIAMS, *Tecnologia e civiltà occidentale,* Torino 1968, pp. 198-199.



Ricostruzione grafica del carro di Eleusi.

passando negli anelli di ferro vi potevano così girare liberamente e il fusto delle colonne, grazie a loro e agli anelli di ferro, ruotava senza difficoltà.

12-Quando i fusti delle colonne furono trasportati fu la volta delle architravi. Metagene, figlio di Chersifrone, prese spunto da questa macchina per condurle. Egli fece delle ruote di due piedi circa, ed in mezzo a queste ruote egli incastrò le teste degli architravi, ai quali adattò dei perni e degli anelli di ferro, per far girare le ruote; e gli architravi fissati nelle stesse come degli assi, giunsero come i fusti delle colonne al luogo di destinazione. Si può avere un'idea di questa macchina dai cilindri che si usano per spianare il suolo delle palestre. Tuttavia l'impresa sarebbe stata impossibile con una distanza maggiore tra la cava e il tempio: distanza che era di ottomila passi, senza salite o discese.[A11]

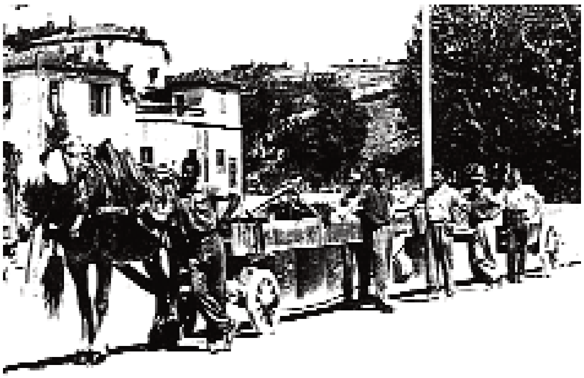
I solchi guida ruote si ritrovano anche in altre parti del mondo classico, come a Delfo, dove resta un singolare esempio di scambio. I Romani ovviamente li conobbero, ma se ne servirono sporadicamente, e non solo per superare un'eccessiva pendenza delle strade, in nessun altro modo riducibile: c'è infatti una seconda e più stringente ragione, che più avanti sarà esaminata. Per tornare ai solchi guida ruote più antichi, è indubbio che l'esempio più grandioso venne realizzato sull'istmo di Corinto, prima del suo taglio, ed ebbe la significativa denominazione di *Diolkos*, che significa etimologicamente *dia* = al di là e *olkos* = trasporto, cioè trasporto da un altro lato. In pratica si trattava di una pista, una sorta di piano di alaggio lungo 6.5 km, che correva lungo la costa occidentale del canale. Suo tramite le navi, dirette dall'Egeo all'Adratico e viceversa, per evitare la lunga circumnavigazione erano caricate su appositi carrelli, e tirate da un mare all'altro. La costruzione originaria del *Diolkos* viene fatta risalire intorno al 600 a.C. e restò in servizio per oltre mille anni.[61]

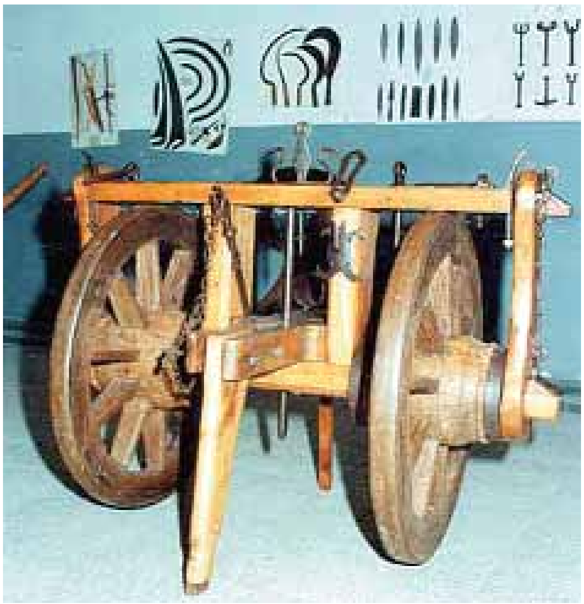
A11 Testo originale Allegato 11, in Allegati.

61 VITRUVIO lib. X, 2, 11-12. Notizie sulla grande opera si leggono in STRABONE, *Geografia*, VIII, 2, 1.

Sotto: Su di una ripresa satellitare del canale di Corinto è tratteggiato in rosso il tracciato del Diolkos, di cui sono riproposti i resti.

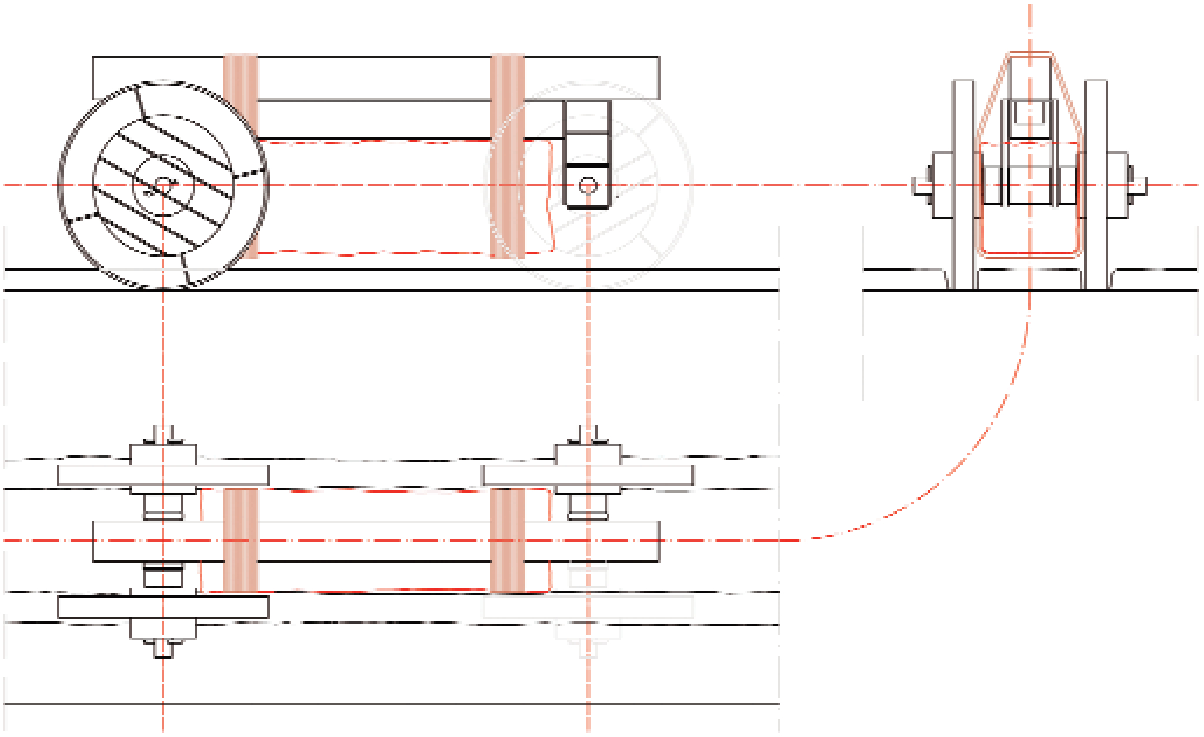
Quanto alla trasformazione in assali ruotati dei grandi blocchi di pietra, con calzanti definizioni si distinguono in *imballaggi ruotati* e in *assali posticci,* entrambi per ingenti carichi e sempre di rilevante diametro e basso baricentro. Anche ad un sommario approccio appaiono il complemento ideale dei solchi guida-ruote. Scendendo in dettaglio, gli *imballaggi ruotati* consistevano in due robusti cerchioni metallici incastrati, mediante cunei di legno, intorno al blocco, con un diametro che superava di almeno un palmo la sua larghezza massima. Il che permetteva all'aggregato di avanzare nei solchi senza il rischio di bloccarsi. Riservato a carichi più lunghi il sistema ad *assali posticci,* che in seguito diverrà il *carro pesante* di Eleusi: in sintesi, in due spessi assali di legno muniti di asse di ferro, recanti alle estremità enormi ruote piene, debitamente cerchiate. Sopra ogni assale, un ceppo di quercia sopportava a debita altezza la trave longitudinale alla quale stava avvinto, con numerose corde, il monolito da trasportare. Sebbene gli assali fossero fra loro indipendenti, una volta fissato il carico divenivano solidali, formando perciò un vero carro, del tutto idoneo ai solchi guida-ruote. Soluzione che permarrà immutata fino al secolo scorso.





A fianco: *Assali posticci usati ancora nel XIX secolo ed ora custoditi nei musei.*

Sotto: *Prospetti schematici d'imballaggio ruotato.*

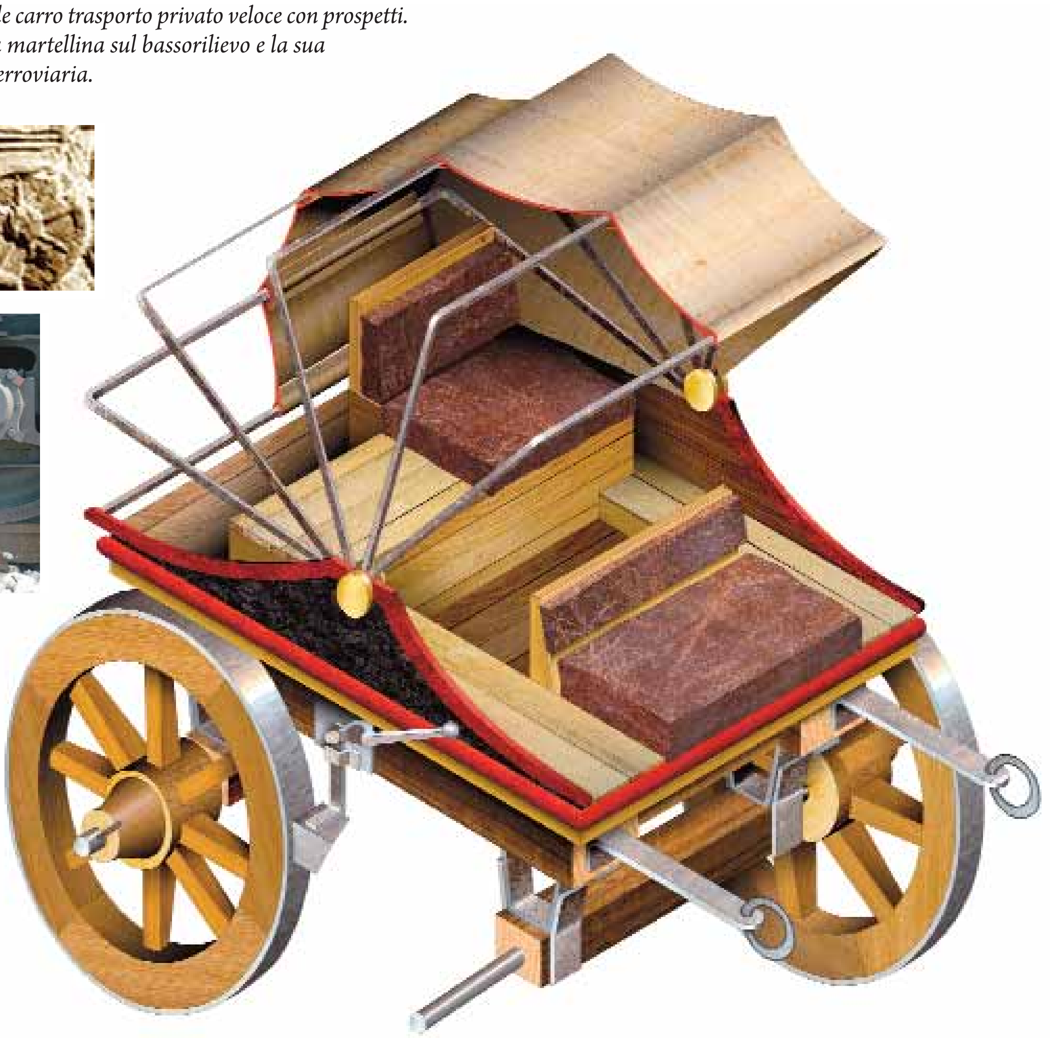


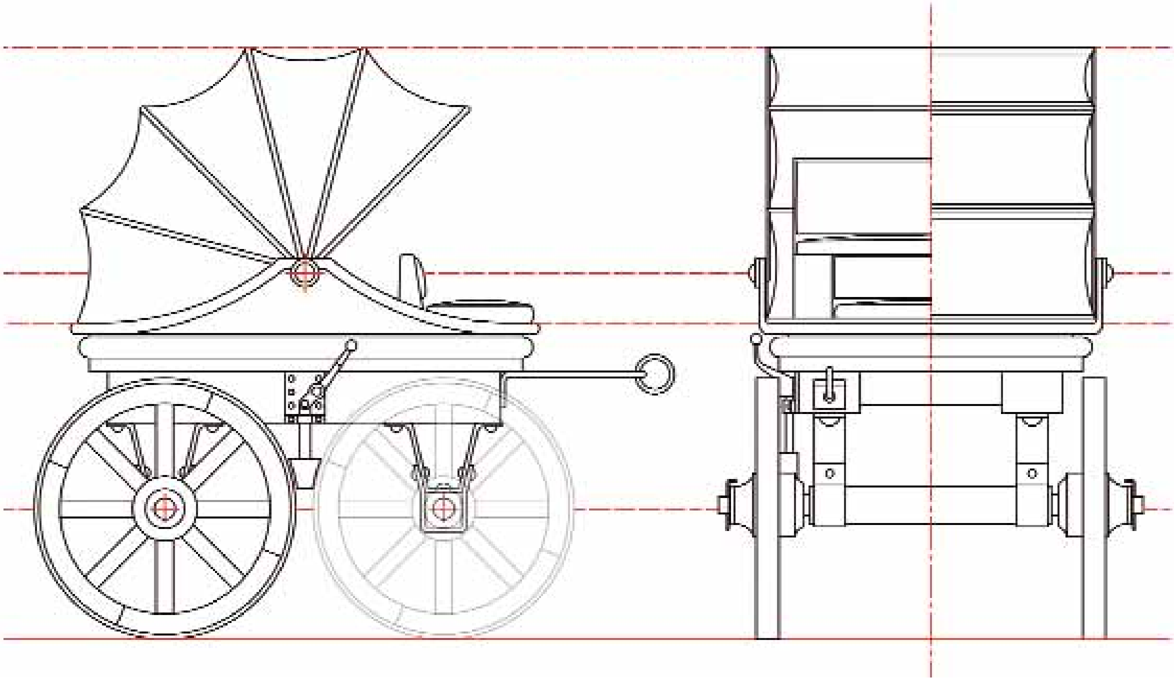
7.2 *I carri romani a quattro ruote*

I carri romani a quattro ruote, sia che fossero adibiti al trasporto passeggeri, agricolo o mercantile, solido o liquido, montavano sistematicamente l'avantreno fisso. Le ruote anteriori e posteriori, infatti, ostentano in tutte le fonti iconografiche, lo stesso diametro e, per giunta, risultano comunque più alte del cassone, per cui il loro assale non poteva girarvi sotto. Un altro dettaglio lo conferma: i cavalli, o i buoi, appaiono sempre attaccati quasi a contatto con il conduttore, collocazione inconciliabile con un timone che, per agevolare la sterzata, invece, avrebbe dovuto essere abbastanza lungo e quindi mantenerli distanti. Senza contare che in qualche raffigurazione si distingue un freno a *martellina*, del tipo di quelli ancora in uso sui carri merci ferroviari, agente sulle ruote anteriori essendo le più vicine al conduttore: funzionando tra i cerchioni ed il cassone, con l'avantreno sterzante la sua azione sarebbe risultata impossibile. Non a caso i suddetti vagoni merci hanno gli assali fissi!

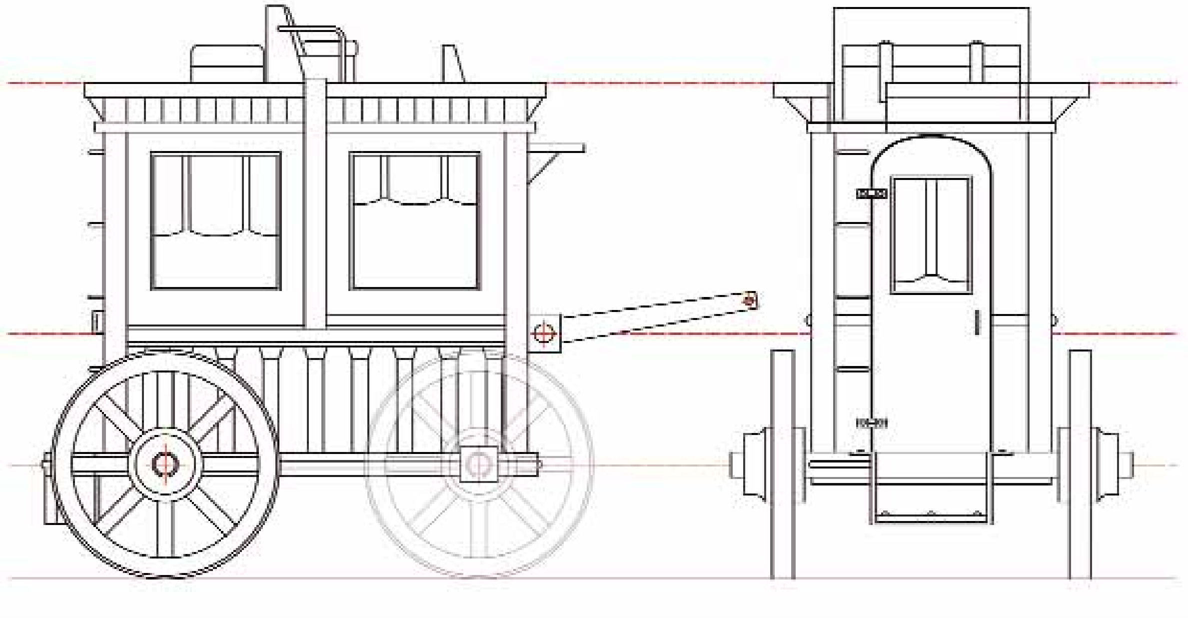
Alcuni bassorilievi relativi a diverse tipologie di carri da trasporto: a fianco, carro per trasporto privato veloce, da notare il freno a martellina tra le ruote; sotto, carrozza per trasporto pubblico di funzionari ed autorità; in basso, carrozza con cuccette; sotto a destra, carro cisterna a doppia botte, trainato da buoi, ed a botte unica.

Ricostruzione virtuale carro trasporto privato veloce con prospetti. In dettaglio il freno a martellina sul bassorilievo e la sua ultima derivazione ferroviaria.

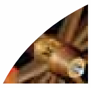


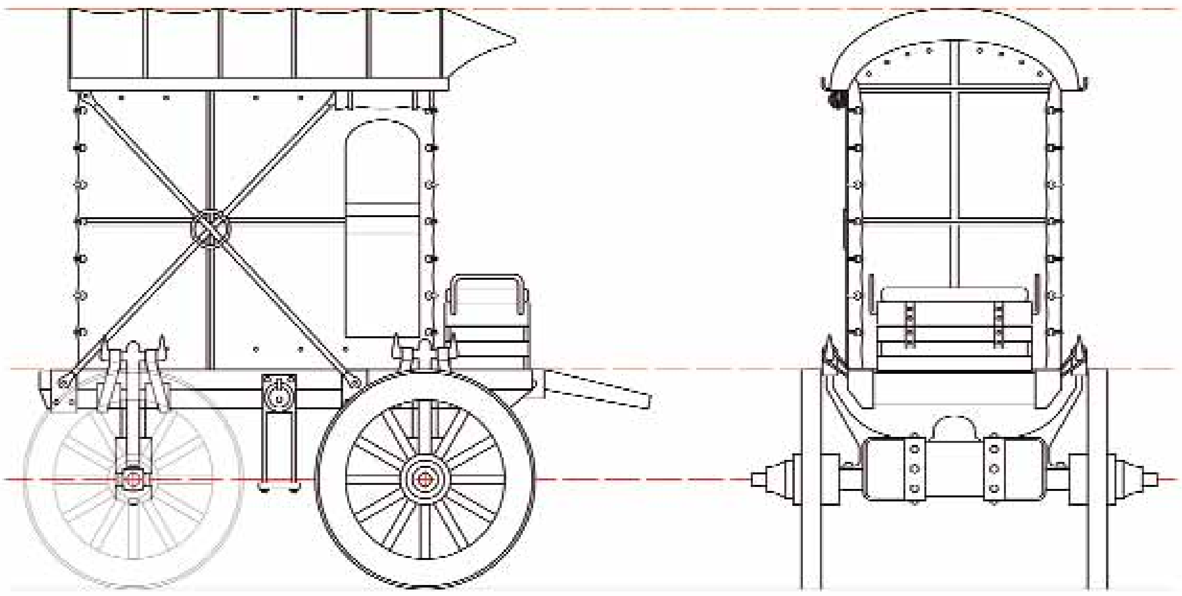


Ricostruzione virtuale carrozza per trasporto pubblico con prospetti.

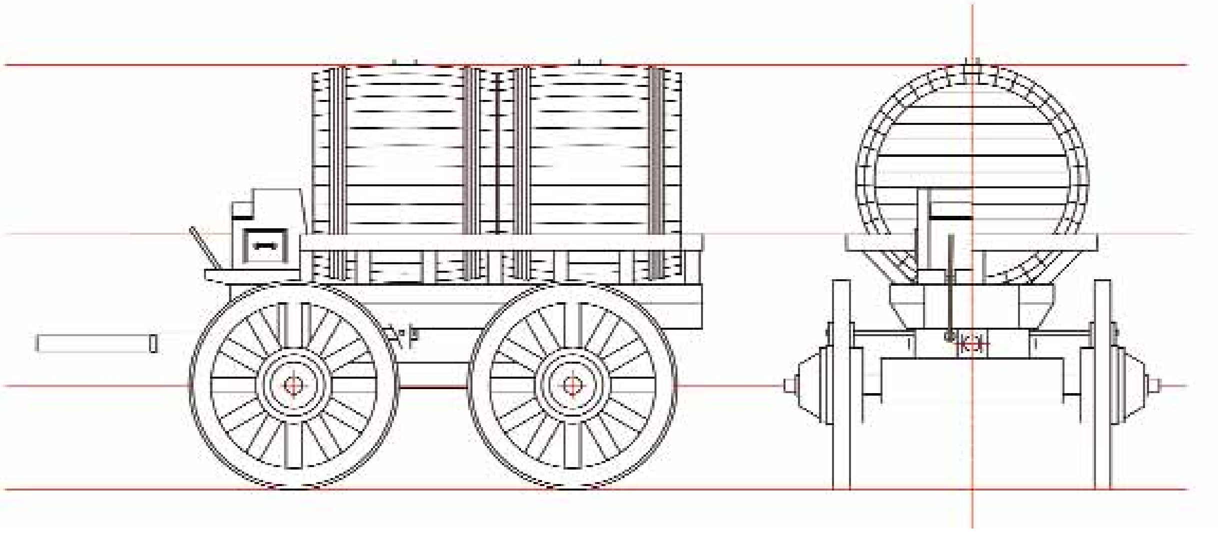


Ricostruzione virtuale carrozza con cuccette con prospetti. Nel dettaglio il supporto per le sospensioni su cinghie in cuoio.





Ricostruzione virtuale carro cisterna con prospetti.



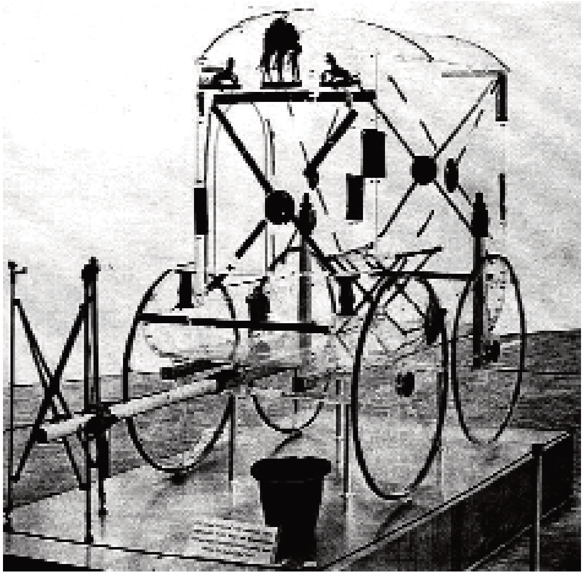
Un'apparente anomalia, per lo più stranamente ignorata nelle ricostruzioni museali, che derivava non tanto dall'incapacità di concepire un avantreno sterzante, che in alcuni casi dovette certamente esistere, ma dalla sua inidoneità a sopportare carichi rilevanti! Un assale attraversato da un perno era comunque debole e l'unico supporto che lo sorreggeva nelle curve strette rischiava di spezzarsi. Non è un caso che quando si costruirono degli autocarri per grandi carichi se ne raddoppiò l'avantreno e si adottarono quattro ruote sterzanti.

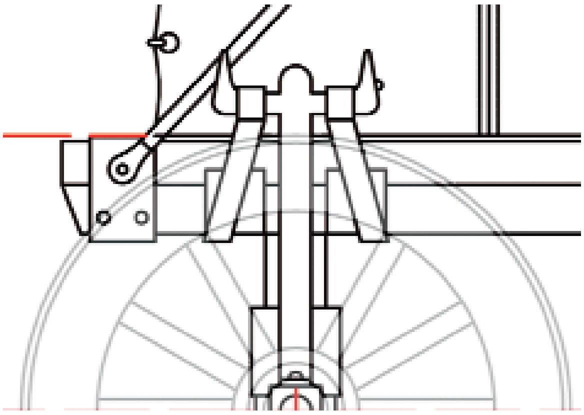
In linea di massima i Romani non furono grandi costruttori di carri. Li copiarono dalle etnie nordiche e li adattarono alle loro ottime strade e ai loro molti bisogni. Per restare ai carri a quattro ruote, ne ricavarono una gamma talmente ampia da ricordare quella degli odierni autocarri e autobus. Vi furono, infatti, carri agricoli trainati da pariglie di buoi, carri merci per il trasporto di oggetti pesanti, carri botte per olio e vino, carri contenitori con alte sponde per terriccio o sabbia. Ed ancora carri diligenze per il servizio pubblico, con sedili pure sull'imperiale, veloci carrozze private con copertura a mantice, carrozze letto con padiglione di pelle, a quattro o a sei cuccette.

Di queste ultime sono stati ritrovati dei supporti di bronzo, alcuni di notevole pregio artistico, fungenti da ancoraggi di robuste cinghie binate di cuoio sulle quali stava collocato l'intero cassone.[62] Le cinghie, pertanto, isolando quest'ultimo dal telaio e dagli assali delle ruote, agivano da sospensioni attenuando le maggiori sollecitazioni verticali e, ancor di più, i violenti scuotimenti orizzontali, consentendo se non un tranquillo sonno, un viaggiare meno penoso. Quanto al criterio specifico della sospensione a cinghia, se ne trova un larvato precedente nei carri da guerra egizi, muniti a volte di cinghie di sospensione, a volte di archi di vimini tipo balestra e a volte pure di ruote elastiche a quattro raggi, criterio quest'ultimo che potrebbe definirsi della ruota-ammortizzatore e che fu riscoperto in alcuni locomotori degli anni trenta.

Grazie alle sospensioni e all'ottima connessione dei basoli, l'avanzamento dei carri sulle strade avveniva in modo relativamente confortevole e senza difficoltà, nonostante la fissità dell'avantreno.

62 Cfr. G. PISANI SARTORIO, *Mezzi di trasporto e traffico*, Roma 1988. Circa le sospensioni con cinghie di cuoio cfr. J. A. WELLER, *Roman traction system*, versione elettronica in http://www.humanist.de/rome/rts/wagon.html





A fianco, in alto: *Resti di una carrozza con cuccette.*
A fianco, in basso: *Supporti per cinghie di sospensione e schema grafico delle stesse.*

7.2.1 I binari di Pompei

Ma quella fissità, che grazie all'ampio raggio di curvatura delle strade non creava problemi nei percorsi extraurbani e, del resto neppure sulle piste per la scarsa coerenza del terreno, diventava incompatibile, invece, con la viabilità urbana, rigidamente ortogonale. Una passeggiata per le strade di Pompei lo conferma: non a caso gli unici resti di veicoli identificati sono d'un carro a due ruote. Per quelli a quattro ruote, infatti, riusciva del tutto impossibile svoltare da un cardo a un decumano e viceversa: fisso l'assale e strettissimo l'incrocio. Occorreva, pertanto, imboccare direttamente la strada di destinazione, il che spiega il rilevante numero di posterle nelle cerchie urbiche greco-romane, spesso due per asse viario. Un carro, quindi, se possibile entrava in città ed avanzava, senza mai svoltare, fino quando ne usciva: dal momento, però, che la sede stradale oltre ad essere stretta era pure scabra e con alte banchine laterali ed attraversamenti pedonali persino più alti, il rischio di sbattervi contro le ruote, danneggiandole gravemente, non era affatto remoto.

Per risolvere quel grave problema ci si ricordò dei solchi guida-ruote, che non a caso proprio a Pompei ostentano ottimi esempi, incidendoli a volte in asse con la strada per centinaia di metri, a volte solo in prossimità degli attraversamenti. Non era una scelta irrazionale, poiché i veicoli a ruota guidata odierna, tramvai e treni, sono preferiti appunto perché il binario consente il transito in sedi appena più larghe del veicolo, senza debordamenti laterali ed eccessive oscillazioni, riducendo inoltre la resistenza al moto.

Dal punto di vista normativo va osservato che l'adozione dei solchi guida-ruote suppone l'uniformazione della distanza fra le ruote dei veicoli, equivalente antico della distanza fra i binari, attualmente definita *scartamento.*[63] Gli ingegneri romani portarono lo scartamento meramente casuale dei greci a coincidere con il *passo*, ovvero a m 1.48, al quale si adegueranno poi le ferrovie, tant'è che coincide con il cosiddetto *scartamento Stephenson* pari a m 1.43. Ancora oggi è lo scartamento ferroviario dei binari dei più avanzati paesi del mondo e dell'Alta Velocità, sui quali sfrecciano convogli a 500 km/h!

63 Per scartamento ferroviario s'intende l'interasse fra le rotaie, misurato a 14 mm sotto il piano di rotolamento. Quello di 1435 mm è utilizzato in Europa, ad eccezione della Spagna e del Portogallo, nella Cina, negli Stati Uniti e nel Messico. Linee interne secondarie, come ad esempio in Italia intorno al Vesuvio la Circumvesuviana, avendo uno scartamento minore, pari a mm 950, vengono definite a scartamento ridotto.

Dall'alto: *Pompei, solchi guida-ruote correnti perfettamente paralleli fra loro ed alle banchine laterali; dettaglio di un solco, di recente incisione e di uno molto usurato; strada romana di montagna a forte pendenza con solchi guida-ruote.*

7.3 *Debutta la benna dentata:* il vallus

Nella nostra vita quotidiana capita con discreta frequenza di osservare, vuoi direttamente vuoi per televisione, delle pale meccaniche al lavoro, stupendoci per la forza di sollevamento della loro benna dentata, che ne è un po' l'emblema. Ad una più accorta attenzione se ne distinguono di svariate dimensioni e potenzialità, tutte però sempre caratterizzate dall'operare spingendo innanzi la benna per rimuovere la terra: più che ruspe delle raspe, novità cingolata diffusasi con il secondo conflitto mondiale. Certamente nell'allestimento motorizzato, gommato o cingolato, è un'invenzione recentissima ma non altrettanto può dirsi del suo criterio informatore e meno che mai della benna. Plinio, trattando della coltivazione e in particolare della mietitura, accenna ad una strana macchina a due ruote, spinta da un bue o un cavallo, utilizzata per la falciatura automatica nei latifondi della Gallia dal curioso nome di *vallus*. Questa la sua esposizione:[64]

72-Diversi sono i procedimenti per la mietitura stessa. Nei latifondi della Gallia, enormi forche con il bordo dentato e montate su due ruote sono spinte, attraverso i campi, da una bestia da soma aggiogata in senso contrario. In questo modo le spighe divelte cadono dentro la stiva della forca stessa.[A12]

Il criterio della macchina è abbastanza evidente: un cassone dentato, posto su di un assale con due ruote, con le stanghe dalla parte inversa a quella dei carretti per consentire al bue o al cavallo di spingerla. Movendosi radente al terreno, intercettava con i denti le spighe che, tagliate dagli stessi, cadevano nel cassone. Ovviamente quella testimonianza di Plinio non fu creduta, come molte altre del resto, fin quando l'archeologia non scoprì degli eloquenti bassorilievi che la confermavano senza ombra di dubbio, confermandoci pure la strettissima somiglianza dell'antica benna con l'attuale.

64 G. C. PLINIO senior,*Naturalis Historia,* lib. XVIII, 72, 296.
A12 Testo originale Allegato 12, in Allegati.

Ricostruzione del vallus romano.

8. Medicare

Stando a Plinio, sembrerebbe che i Romani per i primi sei secoli della loro storia non ebbero medici, o forse per meglio dire non si avvalsero delle prestazioni di medici propriamente detti, cioè che esercitavano la professione in maniera esclusiva. Col l'avvento del III secolo a.C. la situazione mutò drasticamente per l'arrivo a Roma di sedicenti medici greci, per lo più avventurieri ignoranti e ciarlatani privi di scrupoli. L'accettazione ed il successo che vi trovarono dimostra che nel frattempo l'esigenza si era non solo manifestata, ma anche notevolmente incrementata: e comparvero così le prime *taberna*, *officina medica* o *medicatrina*, vere botteghe dove si fornivano i rudimenti dell'arte medica, spesso frammista a pratiche magiche, e di bassa chirurgia. Non a caso, stando a Plinio il vecchio, Marco Catone poneva in guardia il figlio da tali ciarlatani con queste parole[65]:

7-Ti parlerò al momento opportuno di codesti Greci, o Marco figlio mio: delle mie ricerche ed

65 G. C. PLINIO senior, *Naturalis Historia,* lib. XXIX, 7,14.

L'unico ritratto ritenuto attendibile di Plinio il Vecchio: cammeo romano, coll. Cades V/211.

esperienze in Atene e di come sia giusto aver una conoscenza superficiale della loro cultura, senza approfondirla. Ti convincerò che la loro è una genia perversa e incorreggibile: fa conto che questo te l'abbia detto un profeta! Il giorno in cui codesta gente ci darà le sue scienze corromperà tutto, tanto più se manderà da noi i suoi medici. Hanno congiurato di ammazzare con la medicina tutti i barbari, ma lo fanno dietro pagamento, per ottenere fiducia e sterminare gli altri senza sforzo. Anche noi Romani ci definiscono comunemente barbari e ci insultano più vergognosamente degli altri dandoci il nome di Osci. Ti ho fatto solenne divieto di ricorrere ai medici.[A13]

Dal canto suo Plinio era persino più drastico nel giudicare negativamente i medici greci, che non potevano essere facilmente distinti dai peggiori ciarlatani ed imbroglioni. Scriveva, infatti:[66]

17-...Così, per Ercole, la medicina è la sola arte in cui subito ci si affida al primo venuto che si professa medico, mentre in nessun'altra impostura c'è maggior pericolo. Tuttavia non ce ne preoccupiamo, sedotti come siamo, ciascuno dalla dolce speranza della guarigione. D'altra arte non v'è nessuna legge che punisca un'imperizia che può costare la vita, nessun esempio di rivalsa nei suoi confronti. I medici imparano a nostro rischio e pericolo e fanno le loro esperienze sulla pelle dei malati; solo al medico è garantita l'assoluta impunità nel commettere un omicidio.[A14]

Dopo la prima ondata di ciarlatani, iniziarono, col tempo, a venire anche scienziati di chiara fama: Asclepiade, nato in Bitinia nel 124 a.C., sarà a Roma nel 91 a.C., dopo aver effettuato i suoi studi presso la rinomata scuola di Alessandria. Fra i suoi allievi Temisone di Laodicea, Crisippo, Clodio ed Antonio Musa. Il moltiplicarsi dei medici rese possibile la loro specializzazione che almeno sino all'epoca di Cicerone comprendeva tre branche: medici internisti, chirurghi e oculisti.

La presenza rilevante di questi ultimi nelle regioni settentrionali va connessa con le malattie specifiche che il clima umido e freddo dovevano determinare. Il vertice del sapere scientifico in materia fu attinto nel II secolo da Claudio Galeno che, nato a Pergamo nel 130 d.C., dopo un complesso corso di studi giunse a Roma intorno al 165 d.C. dove compì una

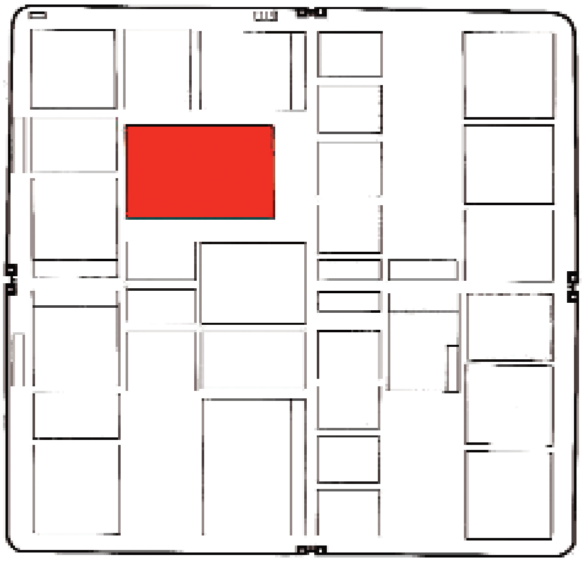
A13 Testo originale Allegato 13, in Allegati.
66 G. C. PLINIO senior, *Naturalis Historia*, lib. XXIX, 8, 17-18.
A14 Testo originale Allegato 14, in Allegati.

A fianco, dall'alto: *Stampa raffigurante Esculapio; affresco con Galeno ed Ippocrate; Ravenna, bassorilievo romano con visita oculistica.*

straordinaria carriera, vantando fra i suoi clienti anche lo stesso imperatore Marco Aurelio.

Se della medicina a Roma sappiamo con una certa accuratezza dalle fonti, non fosse altro che per la rilevanza della materia, non altrettanto informati siamo in merito agli edifici preposti alla sua estrinsecazione, quelli che noi oggi definiamo genericamente ospedali. Per ragioni intuibili si suppone che antesignane infermerie fossero abbastanza frequenti anche nei latifondi e nei maggiori complessi produttivi, industriali e minerari, dove gli incidenti non dovevano certamente mancare. Stesso discorso per l'esercito, del quale però sappiamo, sia pure da fonti indirette, che almeno fin quasi all'età imperiale non ebbe nulla di simile ai *valetudinari* che in seguito diverranno una presenza fissa in tutte le basi legionarie. Stando a Tito Livio, dopo la vittoria di Fabio sugli Etruschi e sui Veienti: "*il console distribuì i militi feriti fra i patrizi, perché li curassero; moltissimi ne furono assegnati ai Fabii, né presso altri i feriti furono ospitati con maggior cura.*"[67] In un altro brano, lo stesso autore precisa che:" *i feriti venivano trasportati nel campo, e qui curati dai commilitoni di tenda.*"[68] Nella terza guerra sannitica, 294 a.C., i legionari per una intera notte: "*restarono tra i feriti ed i moribondi*"[69], ed ancora dopo la sconfitta di Canne:"*parte dei fuggitivi e feriti, arrivarono a Venosa; i Venosini se li divisero fra loro, ricevendoli amorevolmente nelle loro case e curandoli*".[70] Anche negli anni di Giulio Cesare la situazione appare immutata, tant'è che lo stesso scriveva di aver dovuto curare i feriti:"*negli stessi accampamenti, o affidarli alla custodia di città amiche vicine.*"[71]

Fu con Augusto che il sistema sanitario militare mutò radicalmente, forse perché radicalmente era mutata anche la guerra: a rapide puntate offensive si andava sostituendo una prestazione statica, nei grandi accampamenti di frontiera che divenivano giorno dopo giorno dapprima delle grandi basi stabili, poi delle vere e proprie città militari. Necessario perciò soddisfare anche quell'esigenza al loro interno, per dare ai legionari una maggiore tranquillità. Pertanto: "*i primi valetudinari miliari, a quanto ci è dato conoscere, sorsero... all'epoca di Augusto...*[e] *rappresentavano formazioni stabili, incluse nei 'campi' dislocati sulle principali vie di comunicazione alle frontiere settentrionali ed orientali...*



Dall'alto: *i resti del* valetudinarium *del forte romano di Segendum, nel Nord-Est dell'Inghilterra; la posizione del* valetudinarium *nel campo; la ricostruzione dello stesso.*

Il 'praefectus castrorum' ne era l'autorità massima; un tribuno veniva preposto alla sorveglianza diretta del luogo di cura; egli era un ufficiale fuori quadro che prestava servizio attivo; a lui era attribuito il titolo di 'optio valetudinarii'.

Da lui dipendevano i medici, i veterinari (pequari), gli scritturali (librarii) e gli aiutanti (capsarii). Il medico veniva designato col nome di 'medicus ordinarius' o 'medicus qui in ordine meret' quando serviva

67 T. LIVO, *Ab urbe condida,* lib. II, 47
68 T. LIVIO, *Ab urbe...,* cit., VIII, 36; simili anche in XXII, 44, e in XXX, 34.
69 T. LIVIO, *Ab urbe...,* cit., X, 35.
70 T. LIVIO, *Ab urbe...,* cit., XXII, 54.
71 C. G. CESARE, *De bello civile,* lib. III, 75.

nell'ospedale; gli infermieri erano chiamati 'accensi', i soldati adibiti all'assistenza degli infermi 'contumbernales'. La disciplina era affidata ad un 'praefectus militum'... Il grado dei medici militari era molto basso, sotto ai gradi tattici, ed inferiore alla qualifica di 'tribunus'..."[72]

Volendo descrivere in maniera meno generica la struttura architettonica dei valetudinari, sappiamo dall'archeologia, che ne ha riscoperto e scavati un discreto numero, che in buona sostanza avevano tutti la medesima impostazione planimetrica ed i medesimi criteri costruttivi. A *Castra Vetera*, dove erano di stanza due legioni all'epoca di Claudio, la V e la XV, sono affiorati, oltre ai resti del grande campo, anche quelli di un edificio: "*a pianta rettangolare, lungo m 73 e largo m 58.40 con un cortile a peristilio lungo m 25.80 e largo m 16.20, munito di un porticato largo m 3.*

Le braccia sud-est ed ovest erano costituite da un grande corridoio centrale largo 5 metri, fiancheggiato da due file di camere, complessivamente 65, di cui 5, forse, per i servizi. Le camere misuravano metri 3.50 x 4.50 ed immettevano due a due, in un interposto piccolo ambiente, che sboccava nel corridoio. Il lato settentrionale della costruzione era utilizzato per diversi scopi: al centro esisteva un grande ambiente basilicale di m 37x17.80 a tre navate, con due file di colonne scanalate; da esso si accedeva ad un ambiente di m 8.20x11, molto bene illuminato da ampie finestre esposte a sud, con a fianco una stanza di m 8.20x5. Su questo lato, al centro, si apriva l'ingresso, posto sulla 'via Principalis' costituito da un atrio quadrato, di m 8.40 di lato con un portico verso la strada, ed il corpo di guardia verso la basilica. A destra e a sinistra dell'ingresso, si allineavano alcuni ambienti, dotati di un corridoio scoperto, largo m 3. Queste stanze erano di varie dimensioni; una prima fila di esse era costituita da camerette, con porte e finestre, una seconda fila, più esterna, appariva a semplici pilastri..."[73]

In seguito ad ulteriori indagini archeologiche, la sala basilicale venne interpretata come locale adibito all'accettazione e di degenza per i pazienti meno gravi. Il locale minore ad essa annesso, forse fu utilizzato come sala operatoria, mentre le stanze delle tre ali furono forse adibite ad alloggi dei malati per la degenza. Sempre a *Vetera* nel 1930 fu scoperto un secondo valetudinario, risalente all'epoca di Nerone, di circa 84 m di lato, con un corridoio anulare di m 6 ed un cortile centrale di 40 m.: in sostanza il medesimo schema.

72 Da M. TABANELLI, *Chirurgia nell'antica Roma,* Milano 1956, pp. 30-32
73 Da M. TABANELLI, *Chirurgia...,* cit., pp. 48-49.

Altro valetudinario quello del campo di Halter, nel nord della Westfalia, che misurava circa 80 m di lunghezza per 43 di larghezza, con un cortile centrale di m 63x33, e con una serie di stanze lungo le mura esterne, con un corridoio di m 7. Nel campo di Bona, sempre in Germania, il valetudinario era lungo 110 m x 90 di larghezza, con stanze comunicanti su due file, ed alcuni dettagli ne fanno risalire la costruzione al II secolo d.C.. Simili, sebbene con leggeri scarti dimensionali, i valetudinari del campo di *Lauriacum*, di *Carnutum*, di *Lotschitz*, di *Vindonessa*, di *Aquincum*, ecc., tanto per citare i maggiori, esistendone pure per accampamenti di singole coorti, come quello di *Stojnik*, in Serbia, ed altri ancora in Spagna ed in Nordafrica.

8.1 I ferri chirurgici

Saalburg, fu una delle principali basi legionarie in Germania, riscoperta per caso nel 1723 e scavata sistematicamente tra il 1853 e il 1862, venne studiata con estrema cura dal 1894 ai primi del '900 al punto da essere ricostruita simile all'originale a partire dal 1907.

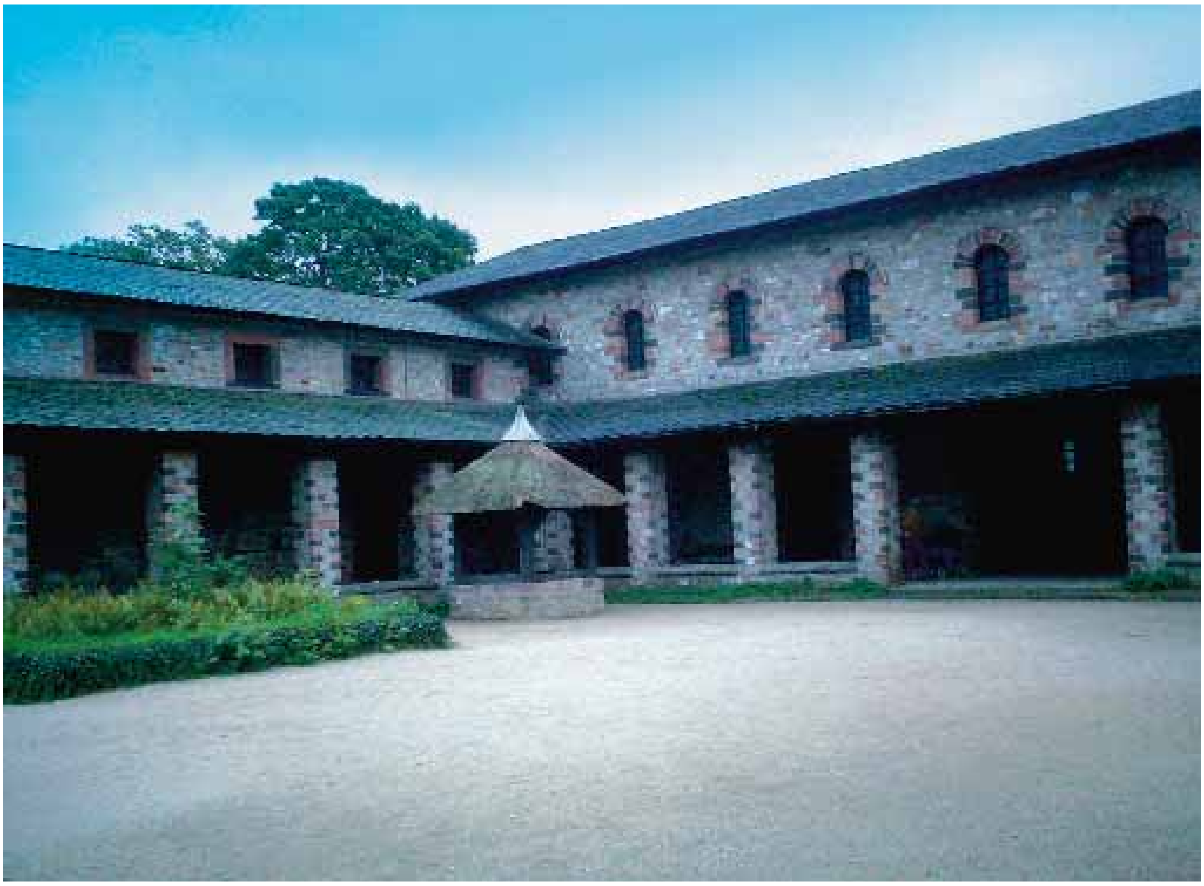
Proprio in questo remoto avamposto tornò alla luce una delle più pregevoli ed importanti raccolte di ferri chirurgici e di strumenti medici, che andarono a completare quelle già rinvenute a Pompei ed Ercolano, fornendoci perciò un quadro abbastanza esauriente dell'intero repertorio. Per linea di massima così possono rubricarsi:

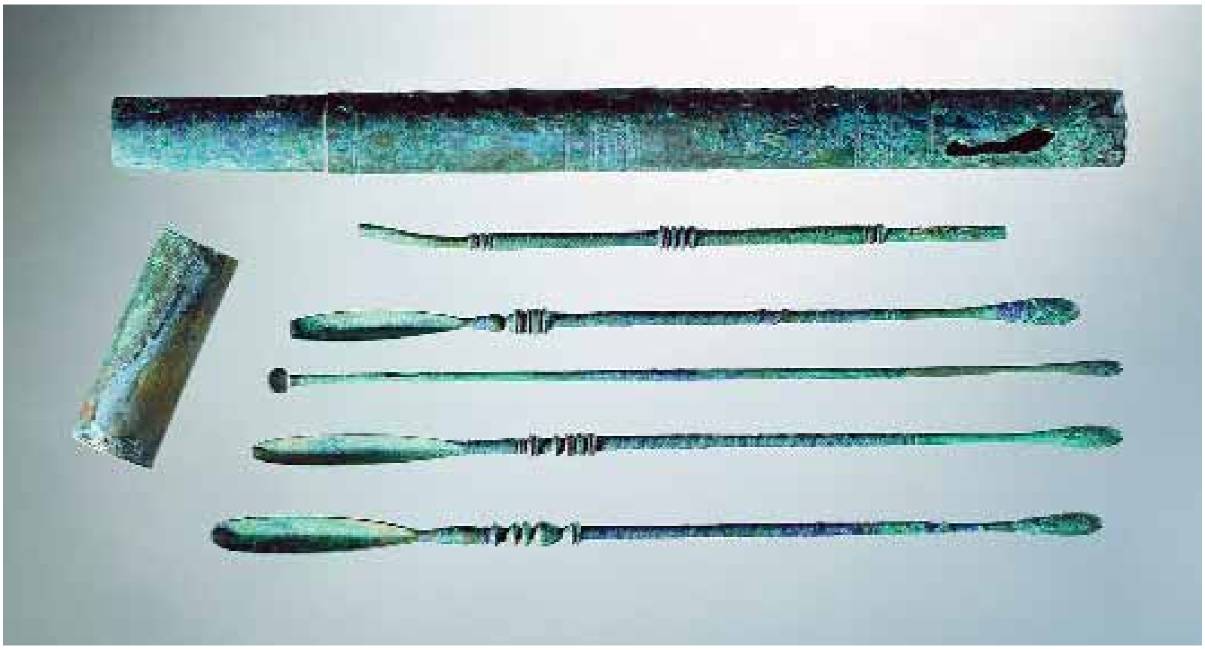
BISTURI-(*scalpellus*): Celso definì *scalpellus* ogni coltello usato in chirurgia ed i Romani ne usarono un vasto assortimento, dalle fogge più diverse della lame e dell'impugnatura. Ve ne erano a lama retta, curva, convessa, smussata, tagliente bilaterlamente, ecc. tra questi uno a lama ricurva verso l'estremità veniva detto *corvus*, per la sua forma a becco di corvo. In tutti anche il manico, terminante sempre a forma di spatola, poteva essere proficuamente impiegato per piccoli interventi.

SCALPELLO-(*scalper):* Ne esistevano di tre connotazioni: *planus*, o piatto; *excisorius*, o a goccia; *radens*, piatto ma con un lungo manico. Accessorio tassativo degli scalpelli, un martello di piombo ed una leva di bronzo.

LANCETTA per salassi-(*Scalpellus ad mittendum sanguinem*): Era costituita, come dice il nome, da una sorta di lungo ago, utilizzato per provocare la fuoriuscita del sangue durante i salassi. Ve ne dovevano essere di varie dimensioni, alcune di bronzo ed altre anche d'argento, e si deve presumere che avesse entrambi i bordi taglienti.

Vedute interna ed esterna del ricostruito campo legionario del Saalburg, in Germania.





Ercolano: reperti archeologici di strumenti chirurgici romani.

SPECILLO: Anche di questo strumento se ne conoscono di varie fogge, ciascuna con un proprio nome, tra cui l'*asperatus*, a forma di piccola lima, per impiego oculistico e l'*oricularius*, per estrarre corpi estranei dalle orecchie. In linea di massima era costituito da uno stelo, terminante con un'estremità a forma di bottone sferico, e con l'altra a forma di spatola o a forma di cucchiaino. Serviva per esplorare cavità interne, come pure nella chirurgia oculistica.

ASTUCCIO- (*Theca Vulneraria*): Consisteva in un astuccio per lo più di bronzo, cilindrico, composto di due parti della quali una maggiore fungente da contenitore ed una più breve che si incastrava con la precedente fungente da coperchio. Al suo interno gli strumenti di uso più frequente e comune quali un bisturi, una pinzetta, uno specillo, una spatola.

PINZE- (*Vulsellae*): Erano tra gli strumenti più comuni ed usati, e contavano molteplici fogge e dimensioni, tanto da potersi distinguere in chirurgiche, anatomiche e depilatorie. Quelle chirurgiche consentivano l'estrazione di schegge ed eventuali frammenti di osso. Se ne conoscono anche di forma più elaborata, come ad esempio quella munita di anello mobile di bloccaggio; o quella con le branche scanalate e zigrinate per favorire la presa o terminanti a denti sottili.

UNCINI DIVARICATORI- (*Hamuli*): Venivano usati in chirurgia per diverse esigenze, fra le quali: estrarre i calcoli dalla vescica ed, in tal caso era detto *uncus*; tener fermo il calcolo stesso, prima di essere triturato; estrarre il feto morto dall'utero ecc.. Per ciascuno degli impieghi possedeva una precisa forma.

CUCCHIAI- (*Cochlear*): Se ne sono rinvenuti in gran numero a Pompei e in Germania. Servivano per depositare dei liquidi direttamente sull'ugola, o per assumere dei farmaci. Ne esistevano sia di metallo, bronzo e argento, sia di osso e avorio.

AGO- (*Acus*): I chirurghi romani suturavano le ferite come gli odierni colleghi, cucendole con varie tipologie di aghi. Alcuni lunghi e sottili, muniti di cruna, erano specifici per la sutura; altri con l'estremità posteriore a spatola, servivano anche per cauterizzare la radice dei peli delle ciglia; altri ancora, appuntiti e non eccessivamente sottili per gli interventi di cataratta.

TERMOCAUTERI: Se ne impiegavano di svariate fogge, per lo più *a paletta*, sebbene quasi unicamente per cauterizzare le ferite o distruggere le parti infette.

COPPETTE- (*Cucurbitulae*): Se ne conoscono di bronzo e di corno, di forma semisferica e tronco-conica, di svariate dimensioni. Venivano collocate a contatto sulla pelle dopo di che vi si praticava il vuoto, aspirandovi l'aria da un apposito ugello e poi tappandolo con cera oppure tramite una piccola fiamma, determinando perciò un effetto depressivo locale, decongestionante.

FORCIPE- (*forceps*): Era uno strumento per afferrare con forza, come per esempio una freccia conficcata nella carne, dei frammenti d'osso dopo una trapanazione o, persino, un dente. Un tipo particolare, alquanto più grande, era usato in ostetricia.

FIBBIA- (*Fibula*): Oltre alla fibbia usata nell'abbigliamento per sostenere la toga, ve ne era una seconda usata in chirurgia per riavvicinare le labbra di una ferita quando troppo distanti, consentendo perciò una cicatrizzazione più rapida e meno vistosa.

CATETERE URETRALE- (*Fistula aenea*): Ne esistevano di molteplici tipologie e varie dimensioni. Per la frequenza dell'impiego Celso consigliava ad ogni medico di portarne nella sua teca almeno tre per uso maschile e due femminile: dei primi il più grande doveva avere una lunghezza di circa 30 cm, il medio di 24 ed il minimo di 18; dei secondi il maggiore circa 24 cm il minore di 12. Si consigliavano leggermente ricurvi e lisci né troppo sottili, né troppo spessi.

TREQUARTI- (*Fistula plumbea*): Si trattava di una sorta di cannula metallica, destinata ad estrarre il liquido dall'addome agli idropici. Constava di un tubicino, per lo più di piombo o di rame, con quasi al centro della sua lunghezza un piccolo disco perpendicolare, che gli evitava di penetrare eccessivamente nella cavità.

SPECULO- (*Speculum*): Fra gli strumenti medici è senza dubbio quello più complesso dal punto di vista meccanico: quale che ne fosse il numero delle valve mobili, due, tre o quattro, dovevano aprirsi simmetricamente e contemporaneamente mediante un comando a vite non reversibile, restando perciò bloccate nella posizione prescelta. Si usavano per la visita anale (*speculum ani*) o vaginale (*speculum magnum matricis*), il secondo quasi certamente più grande del primo.

TRAPANI: Ne venivano usati di due diverse fogge: il primo definito *modiolus*, simile in sostanza ad un'attuale punta a corona, era costituito da un cilindro dentato avente per asse un normale punteruolo, fuoriuscente dalla corona. Questo, una volta penetrato, fungeva da perno consentendo ai denti della corona d'incidere l'osso fino ad aprirvi un foro circolare, una sorta di tassello che, se non guasto, tornava in sede dopo l'intervento di trapanazione cranica. Il secondo, invece, era uguale al trapano da officina e consisteva in una punta conica a vite, seguita da un cerchio tagliante molto più largo che realizzava il foro.

SIRINGHE: Nel 1846 fu rinvenuta a Pompei, ed in epoca molto più recente anche ad Ercolano, una siringa per uso medico. Nella fattispecie si trattava, secondo gli scopritori di una siringa auricolare, destinata ad immettere liquidi all'interno della cavità auricolare o a estrarli. Lo strumento era completamente di bronzo, con un'adeguata impugnatura ed un manico all'estremità dello stantuffo. Si trattava di un'applicazione della pompa di Erone, peraltro l'unica in ambito sanitario.

Strumenti chirurgici romani.

8.2 Le protesi dentarie

I reperti archeologici e, soprattutto osteologici, hanno dimostrato che gli Etruschi sapevano realizzare delle protesi dentarie già molto prima dei Romani. In particolare i loro interventi consistevano sia nello stabilizzare con fascette d'oro e ribattini i denti precari, sia nel posizionarne di finti al posto di quelli caduti, agganciandoli ai sani laterali, sempre tramite analoghe sottili lamine auree. Stando alle fonti, in epoca romana i dentisti sostituivano con discreta frequenza i denti mancanti con artificiali similari, traendoli da cadaveri o da animali, nel qual caso li dovevano preliminarmente adattare per forma e dimensioni. Ironizza sulla prassi Marziale, stigmatizzando la diversa bellezza dei denti di alcune matrone: "*Taide ha i denti neri, Lecania li ha bianchi come la neve. Per quale ragione? Nell'una sono comprati, dell'altra sono propri.*"[74] Ed ancora, con la medesima ironia: "*Sia i denti che i capelli li hai acquistati - non te ne vergognare. Ma cosa potrai fare per il tuo occhio o Lelia, dal momento che non se ne vendono?*"[75]

Nessun dubbio, anche per numerosissime altre fonti sull'esistenza e diffusione di protesi dentarie dell'uno e dell'altro tipo. Al di là dell'ambito estetico vi era un'ampia gamma di operazioni eseguite sui denti, dalla semplice estrazione dei cariati, alla cura delle gengive. Allo scopo nel primo caso ci si avvaleva di appositi strumenti chirurgici, simili a pinze, nel secondo di pozioni farmaceutiche, ed in presenza di infiammazioni o ascessi s'incideva.[76]

74 MARZIALE, *Epistole*, V, 43. «*Thais habet nigros, niveos Laecania dentes/ Quae ratio est? Emptes haec habet, illa suos*».
75 MARZIALE, *Epistole*, XII, 23. «*Dentibus atque comis- nec pudet- uteris emptis. Quid faces oculo, Laela, non emitur*».
76 Cfr. G. PENSO, *La medicina romana. L'arte di Esculapio nell'antica Roma*, NN 1985, pp. 323-326.

9. Motori

9.1 I motori a gravità

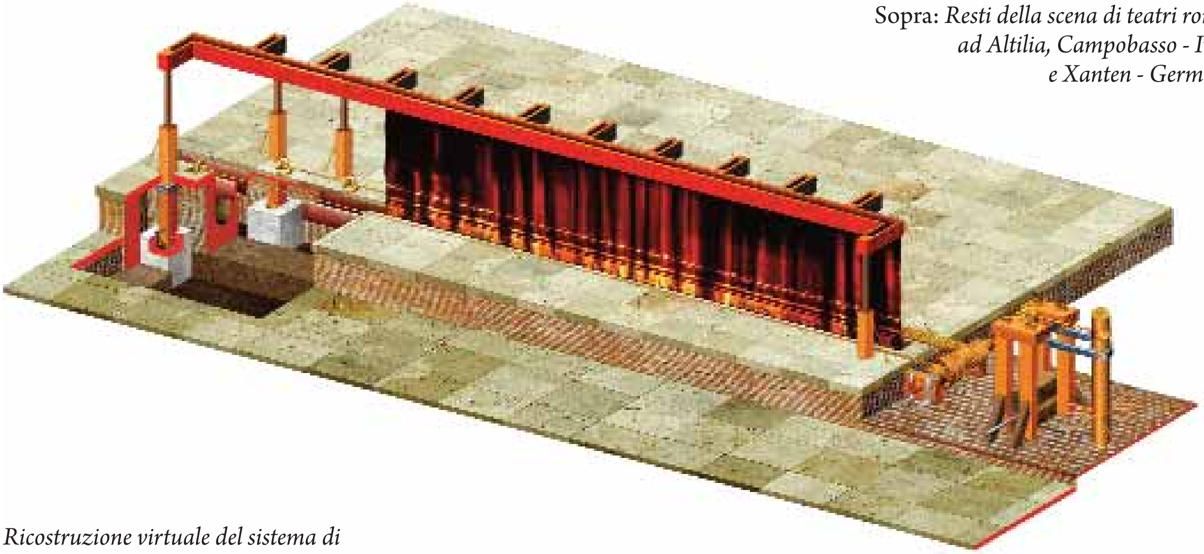
Come accennato nella premessa, in età ellenistica il termine motore definiva, più che un particolare congegno, la ragione iniziale di un evento cinematico. Il moto di un qualsiasi oggetto, infatti, andava imputato a un motore, interno o esterno allo stesso. Il criterio fu, ovviamente, cooptato dai Greci e poi dai Romani, senza alterazioni di sorta, ampliandosi nel frattempo la gamma di tali motori e, nell'ambito dello stato solido, spiccano quelli a gravità e a molla. Se l'identificazione dei primi riesce immediata, pensando al secchio che, cadendo nel pozzo trascina la corda facendo girare il verricello, dei secondi, d'impiego di gran lunga più ampio, basterebbe ricordarne la sopravvivenza nei vecchi orologi meccanici o nei giocattoli, fatti funzionare caricandone la *molla*! Ovviamente quelli a gravità, azionati da contrappesi, furono di gran lunga più potenti: i montacarichi che nel Colosseo, ad esempio, sollevavano le gabbie delle bestie, con portate di varie tonnellate. Fra i motori azionati dalla forza di gravità di media potenza, ve n'era un tipo molto diffuso impiegato per issare o abbassare la tenda del sipario.

Nei teatri romani, infatti, il sipario non poteva scorrere dai lati, né scendere dall'alto poiché la scena mancava della struttura orizzontale superiore. Per conseguenza, quindi, veniva fatto fuoriuscire e sollevare da un apposito alloggiamento longitudinale, praticato subito innanzi al palco, restandovi ripiegato durante la rappresentazione. Nello stesso alloggiamento stavano pure collocati, ad intervalli regolari, gli elementi telescopici che ne determinavano l'elevazione. Questi, interamente di legno, erano costituiti da un astuccio esterno e da uno interno contenente a sua volta un murale: una corda fatta passare sul bordo dell'astuccio esterno, sotto la base di quello interno, poi sul suo bordo e quindi sotto la base del murale, alata da un paranco ne provocava il sollevamento, nella stessa maniera di un'odierna antenna a stilo.[77]

Al recupero della fune provvedeva una complessa macchina, che in estrema sintesi si può ridurre a un paranco ed a un contrappeso di pani di piombo. Dato che il sipario, con la relativa trave orizzontale di sostegno, pesava oltre una decina di quintali, il contrappeso doveva pesarne ancora di più. Ingegnosamente,

77 Cfr. M. PAGANO, *Il teatro di Ercolano, e* A. BALASCO, *L'architettura del teatro di Ercolano,* in *Gli antichi Ercolanesi,* Napoli 2000, pp. 75-86.

Sopra: *Resti della scena di teatri romani ad Altilia, Campobasso - Italia, e Xanten - Germania.*



Ricostruzione virtuale del sistema di sollevamento del sipario di un teatro romano.

però, era stato suddiviso in due parti, che singolarmente prese pesavano meno del sipario: quando congiunte, invece, pesando di più si abbassavano sollevandolo. Per la manovra opposta bastava separarle, per cui il peso del sipario tornava a prevalere, per cui lui scendeva e il contrappeso parziale saliva. Il moto, pertanto avveniva sempre in maniera uniforme e precisa ed i serventi si limitavano ad alzare con il paranco una sola metà del contrappeso.

9.2 La comparsa del semovente

Che il movimento di un carro facesse girare le sue ruote, è un dato acquisito già nella preistoria; non altrettanto il contrario, cioè che facendo girare le ruote, un carro si sarebbe mosso da solo, deduzione realizzata non prima del IV secolo a.C., allorché si cercò la maniera di evitare le stragi di quanti spingevano le torri d'assedio sotto le mura nemiche. Per Bitone fu il macedone Posidonio che, al servizio di Alessandro, costruì una torre di circa 15 m munendola di un meccanismo capace di renderla *se movente*. Per gli storici, invece, l'invenzione della torre semovente si deve collocare nel corso dell'assedio di Rodi ad opera di Epimaco l'Ateniese, ingegnere di Demetrio Poliorcete nipote di Alessandro, che costruì nella circostanza un colosso alto circa 40 m e pesante più di 100 tonnellate! Così Diodoro Siculo la rievoca[78]:

Dopo di aver preparato una grande quantità di svariati materiali, fece costruire una macchina chiamata Elepoli, di una grandezza notevolmente superiore a quelle fino ad allora note. Diede infatti a ciascun lato della sua piattaforma quadrata una lunghezza di circa 50 cubiti [m 23.1]*, realizzandola mediante un assemblaggio di montanti di legno a sezione quadrata legati con bandelle di ferro; divise lo spazio interno tramite travi distanti l'una dall'altra circa un cubito* [cm 46.2]*, in maniera che vi potessero prendere posto quelli incaricati di condurre innanzi la macchina.*

Tutta questa massa era mobile, sostenuta da otto ruote, solide e di grandi dimensioni; i loro cerchi infatti erano larghi 2 cubiti [cm 92.4] *rivestiti da robuste piastre di ferro. Per la traslazione laterale era stata dotata di invertitori, grazie ai quali l'insieme della macchina poteva facilmente essere mossa in qualsiasi direzione.*

Agli spigoli aveva dei montanti di lunghezza uguale, di poco inferiore ai 100 cubiti [46.2 m]*, ai quali era stata impartita una inclinazione tale che, in questa costruzione che comprendeva in tutto nove piani, il primo aveva una superficie di 43 akaines* [circa 468 mq] *e l'ultimo di 9* [circa 98 mq]. *Tre lati della macchina furono rivestiti esternamente con piastre di ferro chiodate, affinché i dardi incendiari non potessero arrecare alcun danno.*

I piani, dal lato del nemico, disponevano di finestre, la cui grandezza e forma erano adatte alle caratteristiche delle macchine da lancio che vi si volevano porre in batteria; queste finestre avevano dei portelli che si sollevavano tramite un congegno e che assicuravano la protezione di quelli che nei vari piani erano adibiti al servizio delle macchine da lancio, poiché erano rivestiti di pelle ed imbottiti di lana, per ammortizzare i colpi delle baliste. Ciascun piano aveva due scale: una di esse serviva per innalzare i materiali necessari, l'altra per discendere, in modo che tutto si svolgesse con il massimo ordine. Quelli che avevano l'incarico di far avanzare la macchina erano stati scelti nell'intero esercito per la loro forza ed erano in numero di 3.400; alcuni di loro stavano posizionati all'interno, altri più indietro, sui lati, e tutti spingevano avanti la macchina, il cui movimento era fortemente agevolato da congegni meccanici.

78 Cfr. DIODORO SICULO, *Bibliotheca historica*, tomo settimo, lib. XX, 85, 1.

A fianco: *Ricostruzione virtuale dell'elepoli di Demetrio Poliorcete, alta 56 m e corazzata con piastre di ferro.*

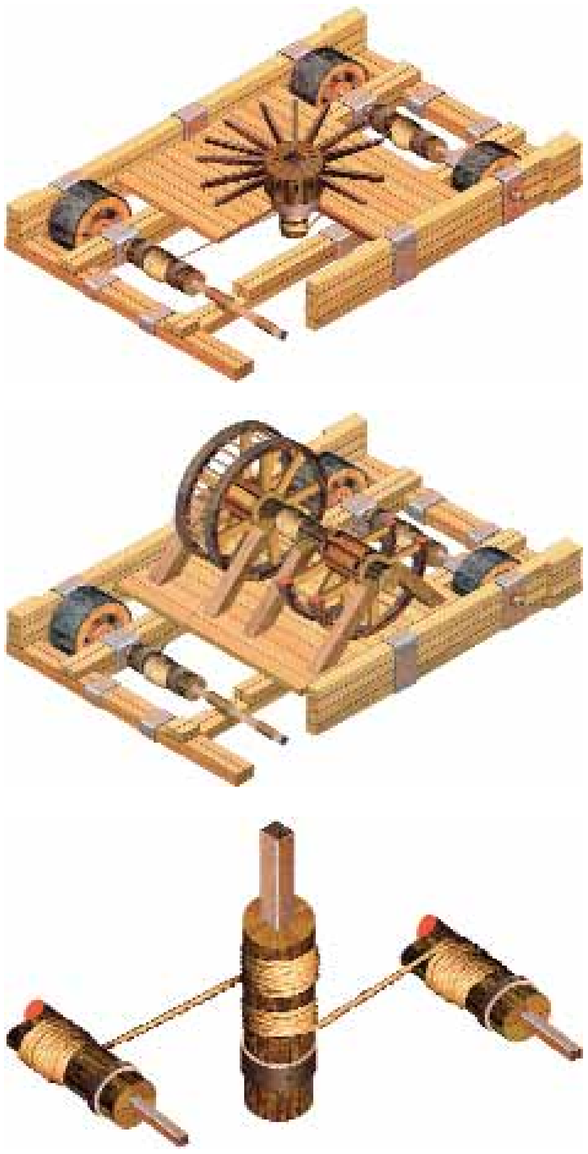
Circa i meccanismi escogitati per la movimentazione di quei giganti, le fonti non si dilungano. Scriveva, ad esempio, Renato Vegezio Flavio che le ruote applicate alle torri d'assedio erano semplicemente fatte girare con un meccanismo sofisticato[79]:

XVII-Le torri sono macchine simili ad edifici, strutturate di travi e tavole; per evitare che una così solida costruzione non sia incendiata dal fuoco nemico, sono rinforzate di cuoio crudo e di stoffe rustiche con la massima diligenza. Si fabbricano quadrate, di altezza e larghezza proporzionate, di trenta, di quaranta o di cinquanta piedi per lato. Si costruiscono, peraltro, di tali dimensioni che possano superare non soltanto l'altezza delle mura, ma anche quella delle loro torri di pietra.

Ad esse con un meccanismo sofisticato, sono trascinate molte ruote, dalla cui rotazione si sposta una macchina tanto grande.[A15]

Quale che ne sia stata la concezione motrice, resta certo che la fonte energetica di alimentazione primaria proveniva dai muscoli umani, con un corollario di leve, paranchi e forse contrappesi. Premesso ciò, si può supporre il ricorso a un *cabestano* o *mulinello salpancore*, come confusamente sembra cogliersi in laconici accenni, congegno, peraltro, ben noto all'epoca. Alla manovra anche un centinaio di uomini, suddivisi fra le sue tante e massicce stanghe. Come pure ad una serie d'enormi gabbie di scoiattolo: di certo per la trasmissione del moto alle ruote, da supporsi sempre integrale, il sistema più elementare consisteva in una coppia di grosse gomene avvolte con numerose spire intorno a ciascun asse e, con l'opposta estremità, vincolata all'albero del cabestano o delle gabbie.

Fattolo girare, le gomene gli s'avvolgevano sopra e, srotolandosi dagli assi, ne provocavano la rotazione insieme con le rispettive ruote. Ma si può anche supporre che si trattasse di un congegno azionato dalla discesa di un grosso grave, forse un serbatoio di acqua, riempito quando stava sulla sommità della torre e svuotato quando raggiungeva la base. Ad una ipotesi del genere sembra condurre la presenza di una grossa vasca d'acqua posta alla base dell'elepoli a cui fa riferimento Diodoro Siculo[80] nel brano seguente:



Dall'alto: *Sistema motore a cabestano per elepoli semovente; sistema motore a gabbia di scoiattolo per elepoli semovente; trasmissione a fune sui due assi per elepoli semovente.*

Demetrio temendo che il fuoco potesse estendersi distruggendo l'intera macchina, si trovò dunque costretto ad intervenire e si prodigò servendosi delle riserve di acqua poste al piano inferiore di soffocare l'incendio che si sviluppava. Infine, egli richiamò col suono delle trombe gli uomini incaricati della manovra della macchina e gliela fece ricondurre indietro, fuori dalla gittata delle armi da lancio…

Che l'acqua avesse una funzione stabilizzante per l'intera torre, abbassandone il baricentro è abbastanza ovvio; che potesse pure servire come riserva per spegnere gli incendi anche: che poi fungesse pure da peso mobile per la trazione appare rivoluzionario. In pratica una catena di serventi, prelevando con dei secchi l'acqua nella vasca, avrebbe riempito un grosso serbatoio, mantenuto alla sommità della torre da funi passanti in varie carrucole e avvolte in basso intorno agli assi. Fatto scendere avrebbe alato le funi, srotolandole dagli assi, che per conseguenza avrebbero preso a girare insieme alle

79 Da R. V. FLAVIO, *Epitoma rei militaris,* lib. IV, 17.
A15 Testo originale Allegato 15, in Allegati.
80 Cfr. DIODORO SICULO, *Bibliotheca historica*, tomo settimo, lib. XX, cap. 22 .

ruote, movendo la torre fin quando il serbatoio non fosse giunto nella vasca alla sua base.

Svuotato era presto risollevato e di nuovo riempito, riavviando l'avanzamento della torre: congegno elementare ed efficace. Che torri del genere fossero ancora d'impiego corrente intorno al I secolo a.C., lo conferma un interessante, e per molti aspetti divertente, episodio così rievocato da Cesare:[81]

30-Dopo l'arrivo del nostro esercito, essi avevano cominciato a compiere frequenti irruzioni attaccando, con i nostri, scaramucce di poca importanza; poi, costruita intorno alla cittadella un fossato di quindicimila piedi e numerosi propugnacoli, vi si erano chiusi. Quando videro che i Romani, dopo aver avvicinate le macchine da guerra e preparato il terrapieno, costruivano, a una certa distanza, una torre, cominciarono a deriderli dal muro, chiedendo, con parole sprezzanti, perché una macchina così grande fosse costruita tanto lontano e con quali mani e con quali forze uomini così piccoli (infatti quasi tutti i Galli disprezzavano la statura dei Romani, bassa in confronto a quella loro) potevano sperare di muovere una torre tanto pesante.

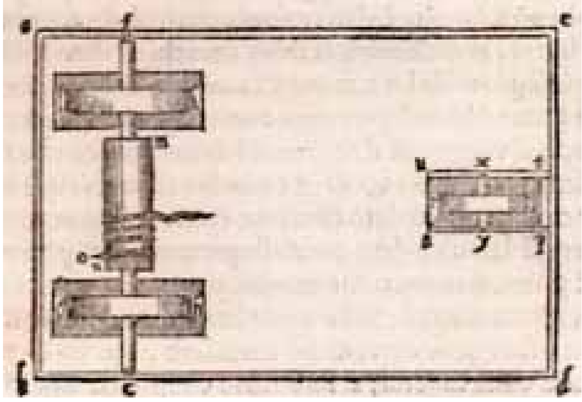
31-Ma quando si accorsero che la torre si muoveva e si avvicinava alle mura, colpiti nel vedere cosa così nuova e insolita, mandarono ambasciatori a Cesare per trattare la pace. Questi dissero che non credevano possibile che i Romani facessero la guerra senza l'aiuto degli dèi, visto che potevano muovere con tanta celerità delle macchine così alte.[A16]

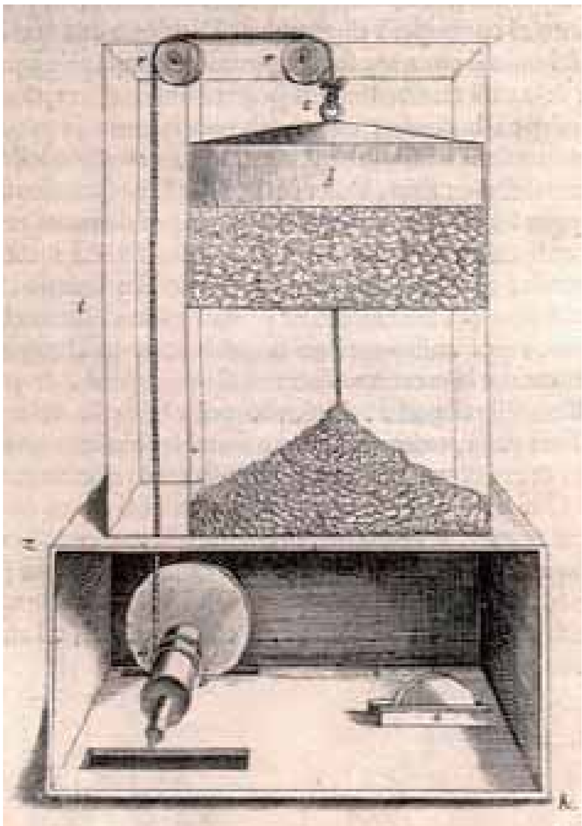
9.3 Il carrello programmabile di Erone

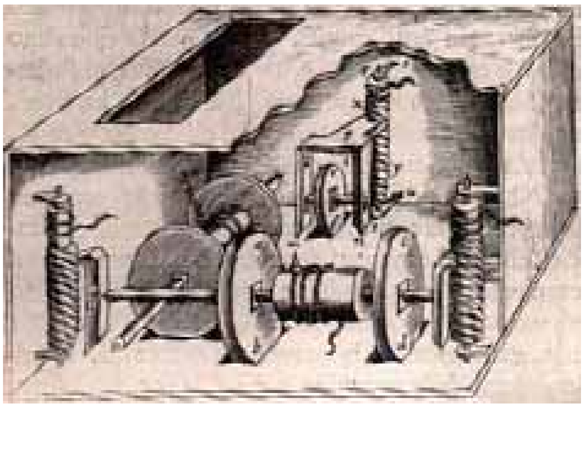
Che motori a gravità siffatti non siano una mera supposizione, lo conferma un curioso carrello costruito da Erone, o per lo meno da lui descritto, il quale non solo si muoveva da solo, quindi un semovente propriamente detto, ma il suo percorso era persino programmabile, secondo un preciso percorso prestabilito. La *memoria* preposta a questa funzione guida era costituita semplicemente dalla modalità di avvolgimento delle funi di trazione, intorno ai rispettivi semiassi: se le spire erano continue su entrambi il moto era rettilineo; se invece su uno dei due l'avvolgimento era interrotto, con uno zig zag sullo stesso, la rotazione della relativa ruota si bloccava, per riprendere quando riprendeva la spira.

Combinando, perciò, spire e zig zag, si avevano percorsi misti, con sterzate, ora in un verso ora nell'altro,

81 C. G. CESARE, *De bello gallico*, lib. II, 30-31.
A16 Testo originale Allegato 16, in Allegati.







Dall'alto: *Pianta e ricostruzioni sezionate del carrello programmabile di Erone, secondo l'interpretazione di Bernardino Baldi nel 1589.*

con angoli uguali agli sviluppi circolari degli zig-zag. Avvolgendo poi la fune per una certa lunghezza in un verso e quindi, sempre sulle stesse spire, nel verso contrario, il carrello avanzava fino ad un certo punto e poi da solo tornava indietro. Così la descrizione nella traduzione dal greco di Bernardino Baldi, abate di Guastalla del 1589, del modello più semplice ad asse unico, destinato ad avanzare solo in linea retta:[82]

Sia una cassetta a,b,c,d, nella quale sia il fuso e, f, che si giri sopra i suoi poli cacciati ne' cerchielli [boccole]*, che sono nelle sponde della casetta; al fuso* [asse] *siano congiunte due ruote eguali g, h, k, l, con le circonferenze loro lenticolate; in mezzo del fuso sia il naspo, m, n, congiunto anch'esso al detto fuso, intorno al qual naspo s'aviluperà la corda; in questo naspo sarà fitto una punta, n, o, nella quale si ficcherà l'uncinetto della corda. Sia un'altra ruota in mezo al alto c, d; e questa sia la r, q, la quale si giri nel casso s, t, p, intorno al fuso x, y, molto piccolo. Siano poi di maniera accomadati i fusi delle ruote, che la cassetta se ne stia così piana, che non penda da niuna parte. Attaccato dunque l'uncinetto alla puna n, o, s'avviluppi la corda intorno al naspo. Essendo poi ad angoli retti sopra la cassetta un cannone* [tubo quadrato] *quadro, l'altro capo della corda per via di una carrucoletta si condurrà alla parte di sopra del cannone, & si raccomanderà al contrapeso di piombo, che è dentro il detto cannone. Quando dunque si lascierà andare à basso il contrapeso nel cannone, tirerà la corda, e questa sviluppandosi dal naspo farà voltare le due ruote, g, h, k, l, e queste girate per il piano condurranno seco la cassetta, fin'tanto che l'uncinetto esca dalla punta, overo il contrapeso si fermi in qualche luogo...*

Il carrello semovente fu dotato da Erone anche di un dispositivo per variarne la velocità, così realizzato:

Acciò che poi il contrapeso non caggia precipitosamente per lo cannone, e faccia troppo veloce il moto della cassetta, getteremo nel cannone qualche cosa leggera, e flussibile, come sarebbe miglio, ò senape, sopra il quale si fermi il contrapeso. Foreremo poi il fondo del cannone con ragionevole foro; il quale con un serraglietto si potrà aprire, e serrare; e detto serraglio sarà raccommandato ad una corda, l'estremo della quale, mediante un buco, si vederà di fuori; accioche quando vorremo, che la cassetta si muova, potiamo, prendendo il capo della corda, che si vede, tirar à dietro il serraglio, il che fatto scorra il fuori il miglio à poco à poco nella base, che gli è sotto; e così si faccia il moto della cassa.

82 B. BALDI, *Di Herone Alessandrino, gli automati*, Venezia 1589, pp. 19-26.

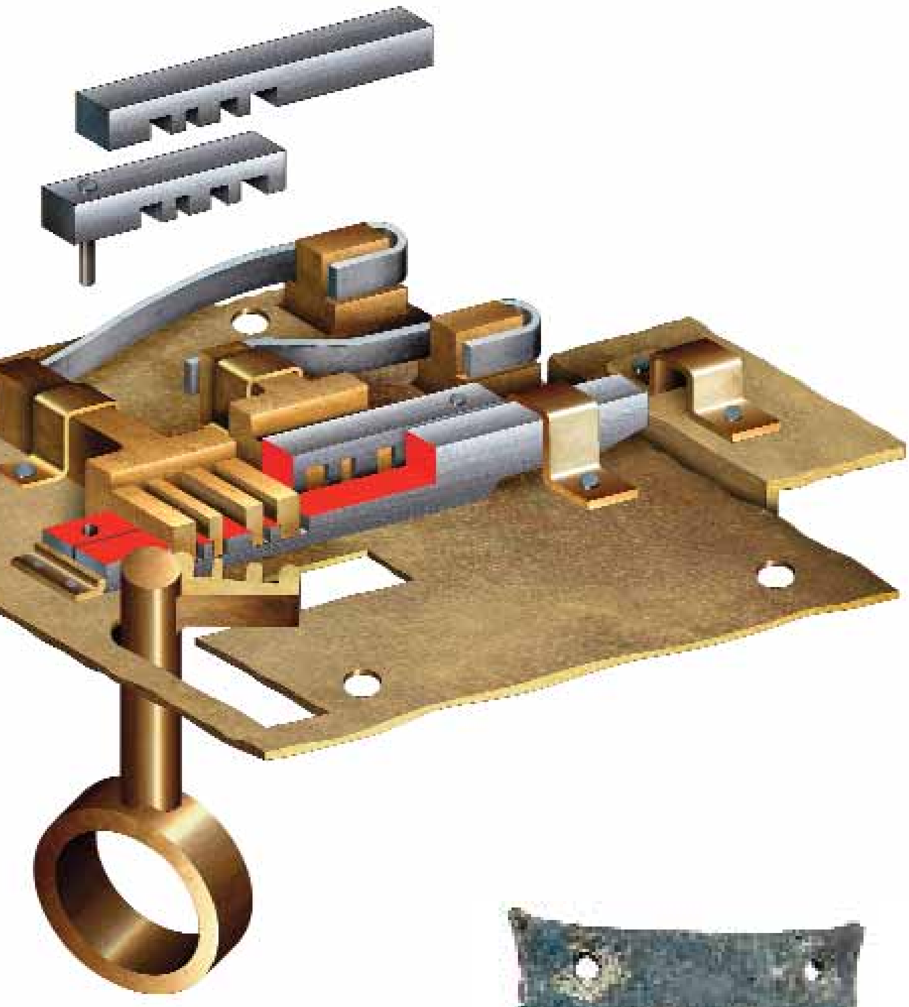
9.4 *I piccoli motori a molla: serrature e lucchetti*

Se la metallurgia romana stentava a forgiare lame di acciaio di qualità, riusciva però, correntemente, a produrre dei brevi listelli acciaiosi di elevata elasticità. Infatti, si costruivano in quantità piccole molle di acciaio temprato, impiegate come antagoniste o di rinvio in alcuni dispositivi a scatto, quali serrature, lucchetti e saltaleoni. Che si trattasse di produzioni di tecnologia più avanzata lo dimostra che erano effettuate non dal solito volgare fabbro ferraio, ma da un *magister clavarius*, cioè da un tecnico specializzato.[83] In una società capitalista, la serratura costituiva un bene necessario in ogni sua variante, da quelle diffusissime ai portoni delle abitazioni, alle più complesse applicate ai forzieri e alle casseforti, senza contare poi l'ampia gamma dei lucchetti di qualsiasi dimensione e resistenza. Per le une come per gli altri, due i fattori comuni: la manovra del catenaccio mediante una chiave e la presenza di molle di rinvio o antagoniste.

83 Cfr. A. BIASIOTTI, *Serrature e chiavi romane del museo archeologico nazionale di Napoli,* Modena 1998, versione su CD.

Piastre di serrature e chiavi rinvenute tra Pompei ed Ercolano.

Sotto: *Ricostruzione virtuale di serratura romana.*
Al centro: *Reperti archeologici da Ercolano relativi a piastra e chiave di serratura.*
In basso: *L'officina di* magister clavarius *in un bassorilievo di età imperiale.*



A sinistra: *Chiavi romane in ferro a gambo corto per ridurne l'ingombro ed il peso. La grandezza dell'occhiello, invece, è tale per consentire l'inserimento del pollice.*
Sotto: *Vari catenacci con cifre in bronzo, Ercolano.*

La serratura romana d'età imperiale per antonomasia è quella detta con *chiave a traslazione.* Sotto il profilo sicurezza non garantiva granché, né costituiva una novità esistendo già da secoli. Non a caso di similari ne sono affiorate in gran numero nell'area mediterranea, soprattutto a Pompei ed Ercolano. Il funzionamento è abbastanza semplice: su una piastra di ferro è fissata una molla di acciaio, che esercita una forte spinta su dei controperni mobili. Questi hanno una precipua sagoma, detta anche *cifra*, che rende unica la serratura e la relativa chiave d'apertura. La stessa sagoma, ma traforata, è ricavata nel catenaccio: grazie alla molla i controperni possono entrare nella cifra del catenaccio, solo però quando vi corrispondano esattamente, ovvero alla fine della sua corsa. La serratura così è bloccata e per aprirla bisogna agire con la chiave: questa, foggiata con la medesima cifra dei controperni, inserita nella toppa viene portata ad entrare anch'essa nel catenaccio ma dal lato opposto dei controperni che, infatti, ruotando scaccia fuori.

A questo punto, traslando la chiave nella fessura orizzontale della toppa, si trascina il catenaccio, aprendo la serratura. La chiave, terminata la manovra, non poteva essere estratta, per cui restava nella serratura fin quando non fosse stata di nuovo chiusa. Evidente il ruolo giocato dalla molla, senza della quale, non sarebbe in alcun modo possibile il funzionamento.

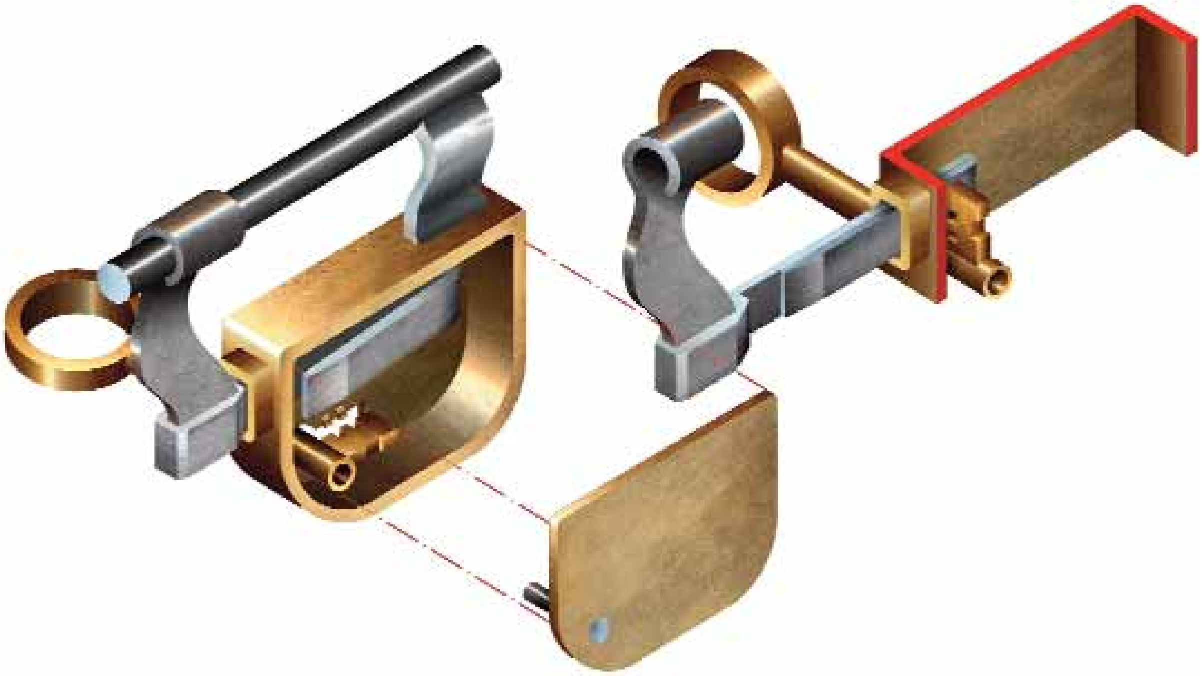
Vi erano ancora serrature dette *a mandata*, in sostanza simili alle attuali. In esse la chiave, con una particolare mappatura corrispondente a quella del catenaccio, entrando nella toppa e ruotando intorno a un perno centrale, spostava il catenaccio, aprendo e chiudendo perciò la serratura. In molti esemplari il foro della toppa veniva sagomato in modo da impedire l'ingresso a chiavi non adeguate. Anche in queste serrature una molla serviva ad impedire qualsiasi oscillazione al catenaccio, confermandosi basilare per il funzionamento.

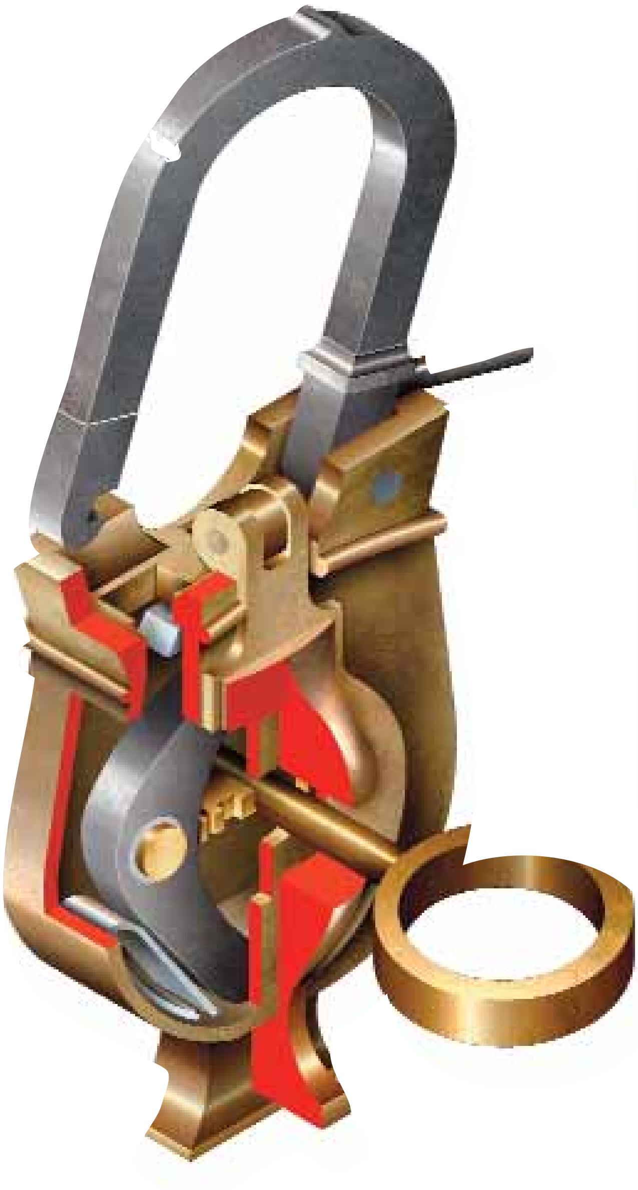
I Romani, come tutti i popoli che viaggiano spesso e si spostano sistematicamente, si servivano di un gran numero di minuscole serrature portatili, più note come lucchetti. Al riguardo, la loro produzione giunse a una varietà e validità assolutamente eccezionale e ineguagliata, fin quasi ai nostri giorni.

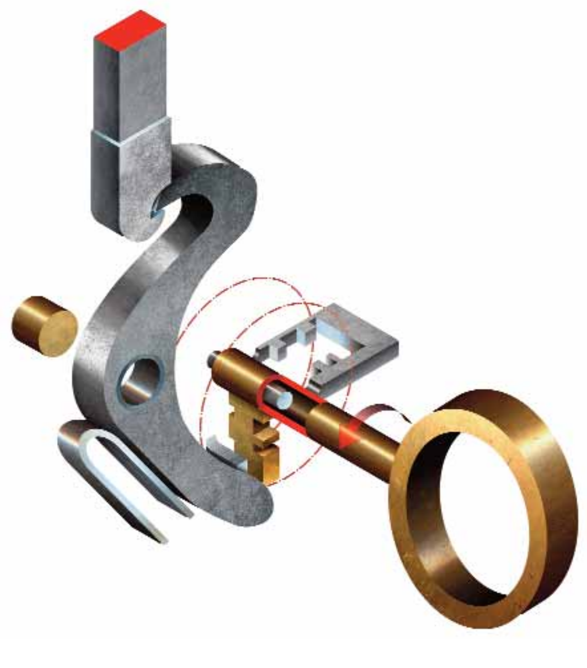
Diversamente dalle abituali serrature, il lucchetto non richiede un'anta a cui applicarsi: gli basta una catena. Al pari della serratura, però, è azionato da una chiave con il concorso di una molla: a volte la prima era sostituita da uno stiletto, sagomato in modo da entrare attraverso un apposito foro e rimuovere il ritegno dell'occhiello o del catenaccio.

Fra i lucchetti ve ne fu uno definito *pompeiano*, per intuibili ragioni. I numerosi esemplari ritrovati ostentano un guscio di ferro, più raramente di bronzo, con una toppa centrale e con all'interno una serratura vera e propria. Con la chiave si liberava un lungo catenaccio, aprendo perciò il battente. Questo lucchetto si impiegava nei serramenti meno importanti, quali ad esempio dei depositi agricoli. Altri tipi di lucchetti appaiono del tutto simili agli attuali con chiusura ad occhiello. In essi facendo girare la chiave si sbloccava il ritegno dell'occhiello che, secondo i modelli, poteva sollevarsi o ruotare, aprendo in ogni caso l'occhiello. Anche per questi una molla garantiva la stabilità della chiusura.

Lucchetti romani e chiavi di varia tipologia. A sinistra quelli detti di tipo 'pompeiano'.







Ricostruzione virtuale di alcuni tipi di lucchetti romani e del loro sistema di funzionamento.

Parte Seconda

ACQUA

Stato Liquido

Militaria mirabilia

Il ponte sul Reno di Cesare

"Cesare aveva deciso di oltrepassare il Reno, ma riteneva che l'impiego delle navi non fosse abbastanza sicuro e non lo giudicava consono alla dignità sua e del popolo romano... Ecco come progettò la struttura de ponte.

A distanza di due piedi univa, a due per volta, travi lievemente appuntite in basso, del diametro di un piede e mezzo di altezza commisurata alla profondità del fiume; poi, mediante macchinari le calava in acqua e con battipali le conficcava sul fondo del fiume, non a perpendicolo, come le travi delle palafitte, ma oblique e in pendenza, in modo da inclinare nel senso della corrente; più in basso, alla distanza di quaranta passi e dirimpetto alle prime travi, ne poneva altre, sempre legate a due a due, con inclinazione opposta all'impeto e alla corrente del fiume. Nell'interstizio collocava pali dello spessore di due piedi - pari alla distanza delle travi accoppiate - e, fissandoli con due arpioni, impediva che esse in cima si toccassero; perciò, poggiando su travi separate e ben ribadite in direzione contraria, la struttura del ponte risultava tale, da reggere, per necessità naturale, tanto più saldamente, quanto più impetuosa fosse la corrente. Sui pali venivano disposte, in senso orizzontale, altre travi su cui poggiavano tavole e graticci; inoltre, come sostegno, a valle venivano aggiunti, obliqui, pali fissati al resto della struttura per resistere alla corrente impetuosa; così pure altre travi, a monte, venivano collocate non lontano dal ponte, allo scopo di frenare eventuali tronchi o navi che i barbari avessero lanciato contro la costruzione per distruggerla: l'impatto sarebbe stato attutito e i danni al ponte limitati."

C.G.CESARE, *La guerra gallica*, lib. IV, XVII. Traduzione F. Brindesi.

Tela dell'architetto John Soane del 1814, in cui è rappresentato il ponte romano sul Reno.

Il ponte sul Danubio di Traiano

"*Traiano costruì un ponte di pietra sul Danubio, del quale non so come esprimere la mia ammirazione. Si conoscono delle altre sue opere grandiose, ma questa le supera tutte. Si compone di venti piloni, costruiti con pietre squadrate, alti 150 piedi [≈ 45 m], escluse le fondazioni, e larghi 60 [≈ 20 m]. Questi piloni distano fra loro 70 piedi [≈ 21 m] e sono congiunti da archi. Come non ammirare il criterio usato per collocarli? Come non essere sorpresi per come ciascuno di essi è stato costruito nel bel mezzo di un grande fiume, in acque piene di buche, su un terreno fangoso, dal momento che non vi era alcun modo per deviare la corrente ? Se ho detto la larghezza del fiume, non significa che la sua corrente si limiti a questa dimensione (a volte è due o tre volte più larga), ma solo che è quella minima e più propizia per costruire un ponte così ampio. Tuttavia ad una minore larghezza, scorrendo da un grande bacino ad uno più piccolo, maggiore sono la velocità e la profondità del suo flusso, il che contribuisce a rendere ulteriormente più difficile la costruzione di un ponte. Queste opere sono un'ulteriore prova della magnanimità di Traiano, il ponte, però, non ci è di alcun vantaggio: sono solo piloni nell'acqua, in quanto non può più passarvi sopra, per cui si dirà che è stato costruito soltanto per far vedere che non esiste nulla di precluso all'ingegno umano. Traiano, temendo che, quando il Danubio gela, i Romani che si trovavano al di là fossero attaccati, lo costruì per far passare velocemente le sue truppe; Adriano, invece, temendo che i barbari, dopo aver soppressi i presidi che lo custodivano, trovassero così aperta la strada per penetrare nella Mesia, ne demolì la parte superiore.*"

Da CASSIO DIONE, *Storia romana*, lib. LXVIII, 3. Traduzione dell'Autore.

Roma: Colonna Traiana, dettaglio del ponte sul Danubio di Apollodoro di Damasco.

Parte Seconda: Acqua → Stato Liquido

1. Bere o affogare

1.1 Acqua: due terzi della superficie del pianeta

La tecnologia dell'acqua, soprattutto nell'antichità, è condizionata da una sua strana singolarità: trovarsi sempre al livello più basso di dove dovrebbe essere, o di dove non dovrebbe essere. In pratica vuoi per uso irriguo, vuoi per uso alimentare, vuoi, infine, per evacuazione è sempre stato un problema ed un lavoro sollevarla o levarla! Dal che una gamma vastissima di macchine per innalzarla, più note come pompe o norie, a loro volta premessa per miriadi di macchine derivate. E se lo stato liquido è rappresentato da numerosi composti ed elementi, tra cui persino un metallo, dal punto di vista meccanico il comportamento di tutti è, in sostanza, equiparabile a quello dell'acqua. Per cui, mai come in questo contesto, gli antichi ravvisarono coerentemente nella stessa il secondo elemento dell'universo e noi l'esempio, di gran lunga preminente, del secondo stato di aggregazione della materia.

L'acqua copre il pianeta per due terzi, ed è il minerale più abbondante e più facile da reperire allo stato naturale, in discreta purezza. Avendo come caratteristica un legame meno forte dei solidi, il suo stato di aggregazione è liquido, ovvero mobile: ha un volume ma non una forma, per cui si adatta a qualsiasi contenitore: da un'enorme cavità naturale, come ad esempio quella d'un lago, a una bottiglia. Oltre al volume ha anche una discreta massa, che tende perciò a disporsi in equilibrio, in piano cioè in basso. Dal che lo scorrere dei fiumi, o il cadere della pioggia ed il suo ruscellare al suolo. Fenomeno che essendo attivato dalla gravità e spostando masse fluide d'entità rilevante, si comporta come una forza motrice, la più costante e la più cospicua in assoluto concessa dalla natura.

Al di là della sua potenzialità energetica in generale e motrice in particolare, l'acqua ha svolto anche

Sopra: *Veduta satellitare della Terra.*

Sotto: *Una spettacolare immagine del San Giuseppe II in Antartide nel 1970. È possibile vedere l'acqua contemporaneamente nei suoi tre stati di aggregazione: nubi, mare e banchisa.*

un'altra funzione basilare nella storia dell'umanità, forse persino più importante per l'evoluzione umana e, sia pure in misura minore, animale: quella di strada.[1] La superficie marina, come quella dei grandi fiumi e dei laghi, si è di fatto comportata sempre alla stregua di un'ampia via di comunicazione, nel caso del mare in pratica senza limiti, di gran lunga maggiore per potenzialità di qualsiasi altra sulla terra. Senza contare che, spostandosi su di essa[2], i rischi di aggressioni da parte di bestie feroci risultano trascurabili, l'attrito insignificante, nulle la pendenza e l'usura, inesistenti i limiti di carico: un bambino si dimostra capace di spostare facilmente un galleggiante con sopra alcune tonnellate! Il vento, poi, saputo sfruttare, agevola il moto in ragione della sagoma esposta. Il che ha permesso di comprendere le potenzialità energetiche e motrici dello stesso, ovvero dell'aria, che non a caso fornì presto il suo apporto alla meccanica.

1.2 I primi accenni a macchine idrauliche

Dal punto di vista biologico l'acqua è l'unico minerale che deve essere assunto in rilevanti quantità da parte di tutti gli esseri viventi, anche vegetali, ogni giorno. È la condizione stessa della vita sul pianeta: pertanto, fatta salva la fase più antica in cui ci si limitò a non scostarsi dalle rive dei grandi fiumi (testimoniata dalle civiltà del Nilo, del Tigri-Eufrate e dell'Indo) presto fu necessario studiare come riprodurre artificialmente gli effetti delle loro alluvioni, derivandone l'acqua e sollevandola con elementari macchine. Estendendosi, infatti, le aree coltivate fu indispensabile condurvi l'acqua[3] tramite delle canalizzazioni, come del resto con altre canalizzazioni, per meglio dire acquedotti, se ne portò di più pura nelle città, quando divennero molto popolate. Hammurabi, che regnò in Mesopotamia dal 1792 al 1750 a.C., si vanta nel preambolo del suo mitico codice di essere stato: "*il signore che ha decretato nuova vita per Uruk, portando acque abbondanti ai suoi abitanti... colui che ha risolutamente*

Dall'alto: *Veduta di una cascata; il trasporto del legname sui fiumi canadesi; bassorilievo con barca assira che trascina dei grandi tronchi; una vecchia foto di barca in navigazione sul Nilo.*

1 Cfr. F. RUGE, *La guerra sul mare 1939-45*, Milano 1970, pp. 14-16; ed anche cfr. A. T. MAHAN, *L'influenza del potere marittimo sulla storia* (1660-1783), Roma 1994, pp. 37 e sgg.
2 Cfr. V. L. GROTTARELLI, *Ethonologica...* , cit., vol. II, pp. 647-652.
3 Fra le opere irrigue più spettacolari, spiccano quelle realizzate nella penisola araba nel primo millennio a.C.. Di esse la maggiore è la diga di Marib. Al riguardo cfr. G. W. VAN BEEK, *Ascesa e caduta dell'Arabia Felix,* in *Letture* da *Le Scienze*, Milano 1973, pp. 122-133. La diga è rimasta in funzione fino al VI secolo della nostra era, in pratica per oltre un millennio.

fondato le fattorie di Kish... colui che ampliò i campi di Dilbat, che ha magnificato i raccolti di Urash... il principe puro... che riparò i vascelli... ”[4]

È evidente che tutti i progressi elencati nell’antichissimo codice sono, in maniera più o meno esplicita, connessi all’acqua e all’irrigazione: in pratica canali per i campi e acquedotti per gli uomini, reti di distribuzione e macchine di sollevamento, macchine per muoversi sull’acqua e macchine per funzionare con l’acqua. E se mai sussistesse qualche dubbio sullo sviluppo della tecnologia finalizzata all’agricoltura irrigua, è fugato dalla norma 259 del suddetto codice, che così recitava: “*qualora qualcuno rubi una ruota per l’acqua del campo, pagherà cinque shekels in denaro al proprietario.*”[5] Che non si tratti di un rozzo *shaduf* ma di una vera macchina rotante lo conferma la norma 260, così dettagliata: “*se qualcuno rubi uno shaduf (usato per trarre acqua dal fiume o dal canale) o un aratro pagherà tre shekels in denaro.*”[6] Le due leggi citate consentono alcune interessanti deduzioni: la ruota per irrigazione verosimilmente era una *coclea*, o vite di Archimede, che si trova impiegata lungo il Nilo alcuni secoli più tardi; il suo costo doveva essere rilevante, essendo la multa quasi il doppio di quella prevista per il furto di un aratro o di uno *shaduf*; la rete dei canali, non

4 Dal Prologo del *Codice di Hammurabi*. Cfr. D. CHARPIN, *Hammurabi di Babilonia*, Roma 2005.
5 Legge n° 259.
6 Legge n° 260.

In alto: *Mosaici di epoca romana custoditi in Libia e raffiguranti il Tigri e l’Eufrate. Tra i due grandi fiumi, grazie alla loro potenzialità fertilizzante, prosperò una lussureggiante vegetazione, non a caso identificata come il paradiso terrestre.*
A fianco: *La stele di Hammurabi con incise le sue leggi.*

irrigava direttamente i campi trovandosi ad una quota più bassa, per cui consentiva soltanto il prelievo sistematico dell'acqua, da effettuarsi però con macchine per il sollevamento di proprietà privata.

Sempre più spesso, inoltre, bisognò occuparsi anche del contrario, ovvero di come prosciugare l'acqua in eccesso sui terreni, nelle miniere e nelle navi: in quei casi quella preziosa risorsa, senza adeguati interventi, si sarebbe trasformata in un gravissimo danno. Ben di rado le macchine utilizzate per sollevarla nei campi furono efficaci anche per evacuarla o drenarla[7]: altre macchine, quindi, di diversa concezione ed altri contributi tecnici, tutti fondamentali per l'evolversi della tecnologia.

1.3 Le prime macchine idrauliche elementari

Difficilmente l'acqua dei grandi fiumi risultava anche ideale da bere, anzi spesso era persino peggiore di quella delle pozze limacciose delle zone aride. Tuttavia, al di sotto dei terreni limitrofi quasi sempre si trovava la falda freatica, che grazie all'azione filtrante degli stessi forniva acqua abbastanza limpida. Per attingerla occorreva sollevarla e per farlo un adeguato recipiente che presso le popolazioni nomadi non poteva essere di fragile argilla, né di pesante rame. Allo scopo fu destinato l'otre caprino, leggerissimo vuoto, di discreta capacità, adattabile per forma a qualsiasi superficie, e capace pure di fornire un discreto isolamento termico. Colmo, però, risultava comunque pesante da tirare dal pozzo, incombenza peraltro riservata alle donne. Si ovviò a questo inconveniente con un ramo snodato, fungente da carrucola prima e da bilanciere poi. Nel primo caso si trattò di una antesignana carrucola che deviava lo sforzo da verticale ad orizzontale; nel secondo di una vera macchina che, tramite un contrappeso ed una leva, riduceva lo sforzo. Nel vicino oriente comparve così lo *shaduf*, presente su remoti geroglifici: col tempo si perfezionò poco, ma si diversificò tanto! Ancora sopravvive sostanzialmente immutato, nel vicino oriente non di rado affiancato a breve distanza, da un suo diretto discendente, di potenza e dimensioni enormemente maggiori, che non solleva l'acqua ma il petrolio: il bilanciere della pompa di estrazione dai pozzi, che lavora incessante nel suo moto alternativo![8]

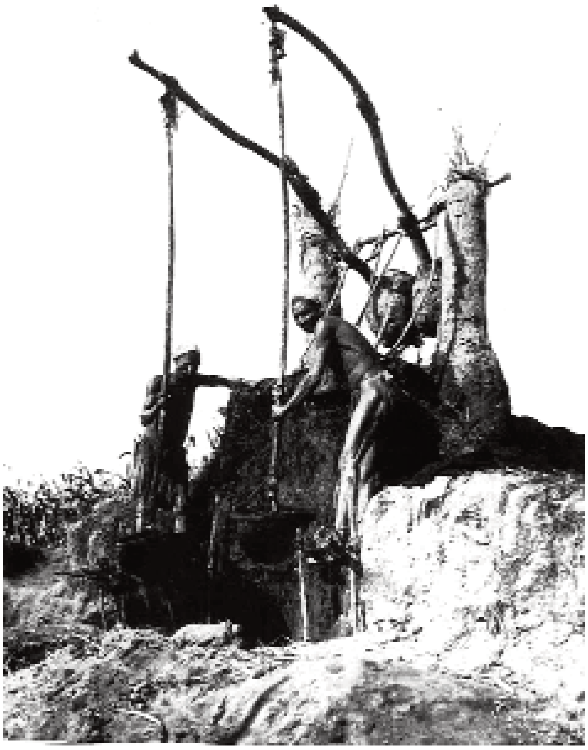
Sopra: *Yemen, resti della grande diga di Marib, II e I millennio a.C..*
Sotto: *Modello in terracotta di coclea, da una tomba egiziana.*

Sempre allo *shaduf* si rifà una delle più potenti macchine da lancio della storia, il *trabocco* medievale, o mangano, che ottimizzato dopo il XII secolo, vantava già alle sue spalle una lunghissima adozione proprio nelle regioni orientali, per cui appare probabile che l'idea di un'artiglieria a braccio unico munito di fionda terminale, sia pure a torsione, debba in qualche modo ricondursi allo stesso.

7 Tra i sistemi di captazione dell'acqua in aree desertiche, o comunque aride, la più originale e diffusa è quella dei cosiddetti *qanat*, tipici dell'Iran. Per approfondimenti cfr. H.E. WULFF, *I qanat dell'Iran*, in *Paleontologia e archeologia, dal Paleolitico all'Antichità Classica*, Milano 1973, pp. 114-121.

8 Dal preistorico bilanciere per pozzi, meglio noto come *shaduf*, ancora ampiamente utilizzato nel vicino oriente, derivano, conservando in sostanza il medesimo criterio informatore, i moderni bilancieri usati per l'estrazione del petrolio. Sull'argomento cfr. D. YERGIN, *Il premio, l'epica corsa al petrolio, al potere e al denaro*, Firenze 1991.

Sopra: *Lo* shaduf *in un geroglifico.*
Sotto: *L'utilizzo dello* shaduf *in una antica foto.*
In basso: *Un moderno bilanciere di pozzo di petrolio.*



1.4 Lo shaduf *da guerra: il trabucco*

Lo *shaduf*, è una macchina rudimentale che funzionava, e funziona ancora, tramite un'asta sospesa asimmetricamente su d'un montante verticale, munita di un contrappeso per bilanciare il peso dell'acqua da sollevare. Sostituire l'otre caprino con una fionda, strumento ed arma entrambi tipicamente pastorali, non dovette richiedere delle eccessive elucubrazioni, come pure l'incremento dei contrappesi, sebbene questo perfezionamento si collochi in un'epoca più recente, che ne vide il progressivo e rilevante incremento. Stando alle fonti accertate, il trabucco comparve in Asia fra il V ed il III secolo a.C., al tempo della dinastia Zhou.[9] A farlo funzionare era lo strappo simultaneo effettuato da numerosi serventi sulle funi applicate all'estremità opposta del braccio: ne conseguiva una sua fulminea rotazione che determinava lo sgancio automatico della fionda, intorno ai 45°, e il lancio di un pesante proietto per la tangente. L'arma, sempre a strappo, raggiunse il Mediterraneo quando l'Impero romano d'occidente era ormai in piena dissoluzione, per cui saranno i Bizantini a studiarne le applicazioni militari.

Dal punto di vista meccanico il suo criterio costruttivo appare semplicissimo, consistendo in sintesi in una trave rotante, imperniata su un montante che la suddivideva in un braccio lungo ed uno corto. Quello lungo terminava con un'imbracatura e quello corto con tante funi di trazione, sostituite in seguito da un contrappeso. Per rendere il braccio lungo ancora più lungo, alla sua estremità venne applicata la fionda per il proietto. Ricordava vagamente l'*onagro*, come accennato, e forse furono proprio i Bizantini ad

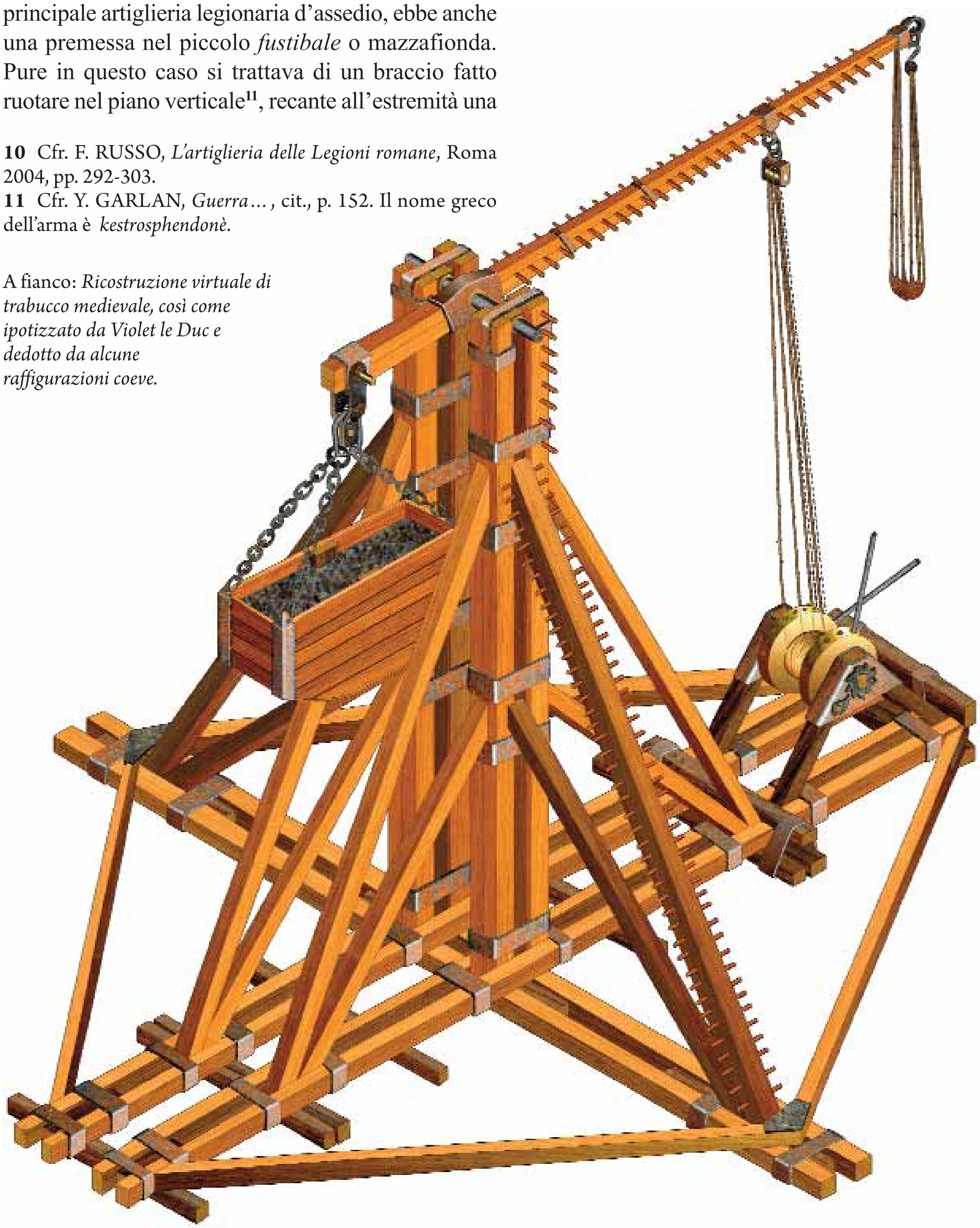
9 Cfr. P. E. CHEVEDDEN, L. EIGENBROD, V. FOLEY, W. SOEDEL, *La più potente macchina da guerra del Medioevo*, in *Le Scienze* n°325, settembre 1995.

Sotto: Il trabucco a strappo, in un codice medievale.

applicare il contrappeso e a modificare la fionda per adattarla al lancio di recipienti colmi di fuoco greco. Ed è per lo meno curioso osservare che proprio l'onagro romano, l'unica artiglieria elastica a singolo braccio ed a tiro fortemente parabolico, montava già una fionda ad apertura automatica. La rotazione però era prodotta da una matassa elastica di potenza minore del contrappeso.

L'onagro[10] che dal III sec. d.C. in poi divenne la principale artiglieria legionaria d'assedio, ebbe anche una premessa nel piccolo *fustibale* o mazzafionda. Pure in questo caso si trattava di un braccio fatto ruotare nel piano verticale[11], recante all'estremità una fionda ad apertura automatica o comandata. Ne abbiamo una dettagliata descrizione in Polibio e sappiamo che divenne comune sul finire del II sec. d.C., sebbene molti autori la ritengano come l'onagro già presente in età arcaica. Quest'ultimo, infatti, è menzionato da Filone di Bisanzio, con la generica dizione di *mono ancon, braccio unico* e dovette avere una vasta e rapida adozione nel mondo antico, prima dei

10 Cfr. F. RUSSO, *L'artiglieria delle Legioni romane,* Roma 2004, pp. 292-303.
11 Cfr. Y. GARLAN, *Guerra…*, cit., p. 152. Il nome greco dell'arma è *kestrosphendonè.*



A fianco: *Ricostruzione virtuale di trabucco medievale, così come ipotizzato da Violet le Duc e dedotto da alcune raffigurazioni coeve.*

perfezionamenti romani. Questa la sua descrizione lasciataci da Ammiano Marcellino[12], lib. XXIII, IV:

4 - La forma dello 'scorpione' (ora lo chiamano 'asino selvatico') è invece questa. Due assi di legno di quercia oppure di leccio vengono sgrossati con l'ascia e un po' arrotondati in modo che sembrino sporgere in forma di gobbe: questi assi vengono congiunti come nelle macchine per segare (su entrambi i lati subiscono perforazioni abbastanza larghe e attraverso questi fori passano funi robuste che collegano gli assi e tengono compatta la macchina in modo che non si frantumi).

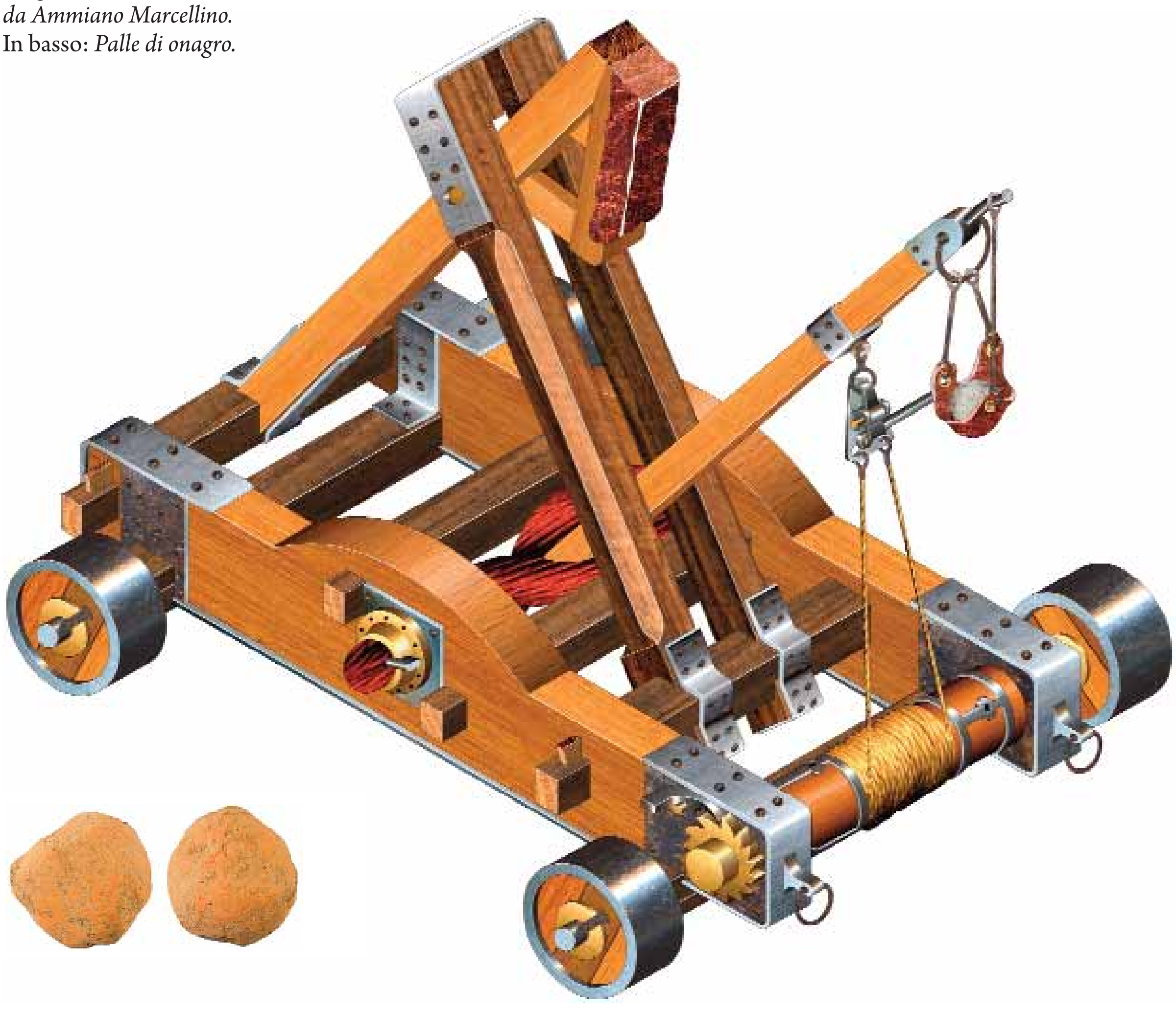
5 - Dalle funi poste al centro [degli assi] *spunta obliquo uno stilo di legno (eretto com il timone di un carro); avvolto nei piccoli nodi formati dalle corde (in modo che sia possibile alzarlo e abbassarlo), alla sua sommità vengono applicati uncini di ferro da cui pende una fionda fatta di stoppa o di ferro. Di fronte a questo stilo di legno* [all'estremità della macchina] *viene steso un grosso sacco fatto di pelle di capra, pieno di paglia minuta: legato con nodi forti, viene posto su zolle di terra accumulata oppure su mucchi di mattoni; infatti una mole* [come è questa macchina], *posta sopra un muro fatto di sassi, scompagina tutto ciò che trova sotto di sé, non con il suo peso, ma per i violenti scuotimenti che imprime.*

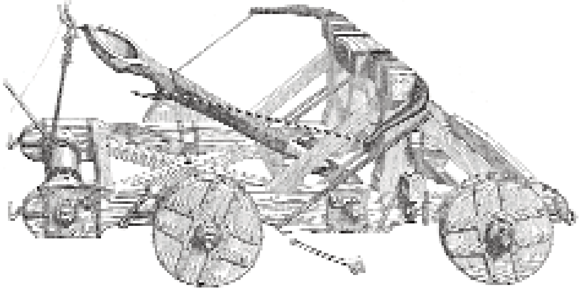
6 - Venuti a battaglia, è immessa nella fionda una pietra rotonda; quattro giovani, da ognuno dei due lati, girano in senso inverso le sbarre cui sono incorporate le funi [che trattengono lo stilo di legno], *piegano lo stilo all'indietro fin quasi alla sua posizione orizzontale e a questo punto il direttore della macchina, posto su un podio, apre la chiavetta che contiene i legami di tutto il meccanismo, percuotendola con un forte colpo di martello: lo stilo viene sciolto da quel colpo assestato veloce e andando a picchiare contro il morbido sacco di pelle di capra, scagli il sasso che spezzerà tutto ciò contro cui si imbatterà.*[A17]

12 Da AMMIANO MARCELLINO, *Storie*, lib. XXIII, 4. Per ulteriori approfondimenti sull'artiglieria a braccio unico cfr. FILONE di BISANZIO, *La sintassi meccanica*, lib. V, 10, in *Recherches de poliorcétique grecque*, a cura di Y. GARLAN, Paris 1974, pp. 279 e sgg.

A17 Testo originale Allegato 17, in Allegati.

A fianco: *Ricostruzione virtuale di un onagro romano, così come descritto da Ammiano Marcellino.*
In basso: *Palle di onagro.*





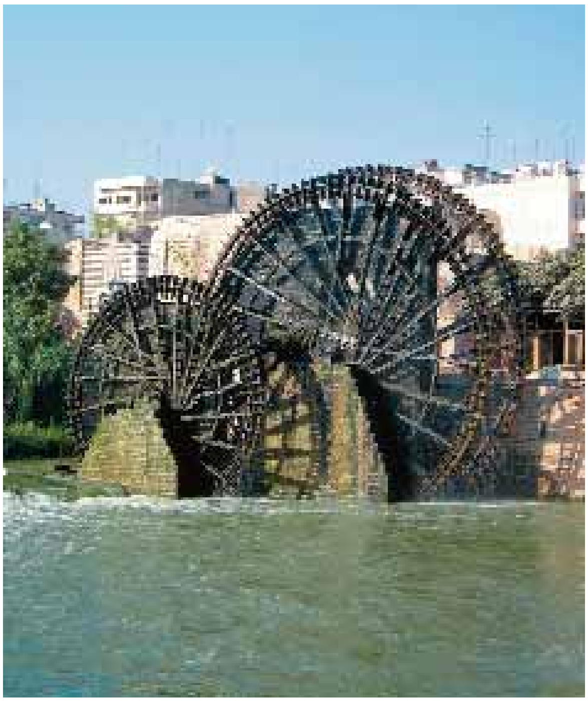
Le sue rielaborazioni si rintracciano nel XIII secolo fra gli armamenti di fazione e persino navali. La macchina, che nel Medioevo diverrà la catapulta per antonomasia, infatti, si può considerare per molteplici aspetti l'ultima variante dell'*onagro*. Il trabucco, invece, si diffonderà in Europa occidentale molto più tardi e, soltanto, in seguito alle Crociate, dominando da quel momento gli scenari ossidionali per quasi tre secoli.

2. Sollevare l'acqua

La necessità di sollevare l'acqua in rilevante quantità dal fondo di un pozzo o dal letto di un fiume, implicando tempi di attuazione prolungati, quando non pure continui, portò ad escogitare alcuni semplici congegni. La loro caratteristica, oltre alla facilità di costruzione, era il poter essere mossi dalla forza umana, da quella animale o della stessa acqua corrente, ovviamente quando si trattava di fiumi, o, infine, da quella del vento. Una tale macchina constava di due parti fondamentali: un congegno di prelievo e innalzamento dell'acqua ed un organo motore, capace, quale che fosse, di trasformare l'energia motrice naturalmente disponibile in movimento del congegno. Questo, esattamente come nel caso del remo che suggerì la ruota a pale, derivò dal singolo otre: un discreto numero di tali recipienti, infatti, furono fissati intorno al cerchione di una ruota. Facendola girare, gli otri, immergendosi, si riempivano d'acqua che scaricavano, rovesciandosi, una volta giunti in sommità della ruota. Per porre in rotazione una ruota ad otri, che poi divennero tazze di terracotta e quindi cassette di legno, bisognava superare una resistenza pari al peso dell'acqua sollevata, per cui al crescere del numero degli otri cresceva, ovviamente, la quantità d'acqua sollevata, ma cresceva anche lo sforzo necessario, che aumentava pure con l'aumentare dell'altezza.[13]

13 Cfr. B. GILLE, *Storia delle tecniche…*, cit., pp. 216-217.

In alto a sinistra: *Ricostruzione della catapulta medievale interpretata da Violet le Duc.*
In alto: *Raffigurazione di mazzafionda in un antico codice.*
Sopra: *Un moderno onagro utilizzato per il lancio delle granate nella prima guerra mondiale.*
Sotto: *Antiche norie siriane ancora in funzione.*



In alto: *Affresco ellenistico, custodito ad Alessandria d'Egitto, relativo ad una noria.*
Sopra: *Una ruota a catena moderna.*
In basso, a destra: *Ricostruzione di un'antica noria a catena.*

Nonostante ciò quelle norie, lavorando per tempi molto lunghi, consentivano la coltivazione intensiva in terreni altrimenti sterili. Nessuna meraviglia, quindi, che già nel codice di Hammurabi, come ricordato, si faccia un esplicito riferimento a macchine per irrigazione che, in alcuni casi, sia pure in maniera confusa sembrano persino azionate dal vento. In pratica l'esatto opposto di quelli che quasi tre millenni dopo furono impiegati in Olanda per drenare l'acqua in eccesso.

Tornando alla forza necessaria ad azionare le ruote, vennero elaborati diversi congegni per renderla congrua alle potenze disponibili. Si adottarono perciò demoltipliche a ruote dentate di varia foggia, a seconda che fossero per animali o uomini. In breve tempo, tuttavia, fu evidente che la ruota ad otri, quando si immergeva in un fiume, subiva un certo trascinamento da parte della corrente: una seconda ruota a palette mossa dall'acqua e di adeguate dimensioni avrebbe potuto perciò porla in rotazione. A quel punto le due parti della macchina vennero assemblate, costituendo un sistema meccanico detto noria. Le norie quindi, per larga sintesi, si possono distinguere fra quelle a trazione animale e quelle idrauliche, ed ancora a ruota unica o a catena, a dislivello singolo o frazionato.

2.1 Le norie di Ostia antica

Il tipo più semplice è a ruota unica, con poche tazze sulla corona ed azionata da un animale. Per ovvie ragioni il congegno conobbe la massima diffusione nelle regioni aride e scarso interesse nei climi temperati e ricchi di corsi d'acqua. L'altezza a cui poteva sollevare l'acqua era, inevitabilmente, inferiore al suo diametro che, per motivi strutturali, non superava la decina di metri, attestandosi mediamente intorno ai cinque metri al massimo. Per dislivelli maggiori e spazi minori, come ad esempio all'interno di un pozzo, si ricorse ad un sistema ad ingegno, costituito da una ruota, raramente due, delle quali l'inferiore fungente da rinvio, e da una coppia di catene affiancate. Alle loro maglie stavano fissati alquanti secchi o tazze, disposti ad intervalli regolari. Per porre in rotazione le catene, la ruota superiore veniva realizzata con appositi incastri o impronte[14], ed era sufficientemente solida da sopportare il peso complessivo di tutte le tazze e dell'acqua in esse contenuta. La lunghezza della catena, infatti, essendo discrezionale consentiva, in via teorica, di raggiungere dimensioni di prelievo notevoli per portata e profondità. In pratica però, crescendo l'una e soprattutto l'altra, la resistenza aumentava al punto da incepparla, quale che ne fosse il motore.

Supponendo a titolo di esempio che la tazza o il secchio avessero una capacità di soli 10 litri e

14 Cfr. T. K. DERRY, T. I. WILLIAMS, *Tecnologia e civiltà…*, cit., pp. 291-292.

In alto: *Cuscinetti lenticolari della noria di Ercolano*
Sopra: *Veduta aerea di Ostia antica.*

supponendo che ve ne fosse uno per ogni metro di catena, ve ne sarebbero stati 10 su un dislivello di 10 m, per un quintale di peso. Considerando per la catena una velocità di salita intorno ai 20 cm al secondo, sarebbero stati sollevati circa 100 litri ogni minuto. Non poco certamente ma, poiché occorrevano quasi 10 minuti per un unico metro cubo, la prestazione restava comunque modesta!

La struttura di legno delle norie non ne ha consentito la sopravvivenza, tant'é che gli unici elementi superstiti di una noria siffatta sono i due cuscinetti lenticolari ritrovati ad Ercolano, in precedenza descritti. Le testimonianze della loro esistenza sono, pertanto, gli alloggiamenti degli assi nei vani d'impianto e le incisioni lasciate sui muri dalla rotazione, come si può verificare in alcune case di Ostia antica.[15]

La città, stando alle fonti, fu fondata da Anco Marcio nel VI secolo a.C. ma i saggi effettuati sulla muratura del *Castrum* non risalgono oltre il IV secolo a.C.: plausibile, pertanto, che il primo insediamento fosse solo un semplice accampamento. E come tutti i similari, la sua ubicazione doveva necessariamente essere prossima alla riva del fiume. Frontino nei suoi *Commentari* dice che: "*durante 441 anni i Romani si accontentarono di bere l'acqua che essi trovavano sul posto, quella del Tevere, dei pozzi e delle sorgenti*".[16] Nessun dubbio che sia stato così anche per gli Ostiensi, almeno fino all'attivazione dell'acquedotto che dai monti di Acilia conduceva l'acqua nella città.

Ad Ostia, tuttavia, la falda freatica, estremamente superficiale, oltre a favorire la costruzione di pozzi rendeva anche agevole prelevarne l'acqua.[17] Nettamente diversa la situazione quando le quantità da estrarre fossero state molto maggiori, come quelle necessarie per far funzionare un impianto termale, nel quale non esistendo nulla di simile ad un moderno filtro di riciclaggio dell'acqua, per evitarne un eccessivo inquinamento, era indispensabile il suo continuo ricambio. Si spiega così l'uso di norie per la fornitura dell'acqua, ad Ercolano come ad Ostia antica, dove in vari casi, i più modesti, se ne impiantarono di elementari costituite da una semplice ruota a secchi, in altri invece di più elaborate con diverse ruote munite di catene di secchi, in modo da poter suddividere il dislivello complessivo in due o più salti con bacino intermedio. Vitruvio ne fornisce una dettagliata descrizione delle varie tipologie in questi termini:[18]

1 - ...si costruisce dunque - possibilmente al tornio - un asse circolare, coprendone le teste con lamine di ferro. Intorno a quest'asse si fabbrica, con tavole di legno insieme connesse, un timpano. II tutto, poggia su due sostegni che, la dove reggono l'asse vanno ugualmente coperti con lamine di ferro. All'interno del timpano vanno poste otto tavole trasversali dall'asse all'orlo della ruota: si otterranno così otto settori circolari uguali.

2 - Sulla fronte del timpano s'inchiodano delle tavole, lasciando delle aperture di 1/2 piede (IS em.) per far entrare l'acqua. Lungo l'asse si scavano dei piccoli canali, uno per ciascun settore. La macchina, dopo essere stata impeciata come si fa per le navi, può essere azionata a piedi dalla manodopera: l'acqua che entra in essa per mezzo delle aperture lasciate sulla fronte del timpano esce poi

15 Cfr. C. PAVOLINI, *La vita quotidiana a Ostia*, Bari 1986, pp. 219 e sgg.

16 Da S. G. FRONTINO, *De aquis urbis Romae*; la citazione è tratta da A. LANCIANI, *Topografia di Roma antica: i Commentari di Frontino*, 1881, p. 218.

17 Cfr. M. A. RICCIARDI, *La civiltà dell'acqua a Ostia antica*, Roma 1996, vol. I, pp. 13-14.

18 VITRUVIO, *De architectura* X, 4.

per i canaletti scavati lungo l'asse. Qui, al di sotto, si pone un secchio di legno comunicante can un condotto. In questo modo si può attingere una gran quantità d'acqua per irrigate i campi o per sciogliere il sale nelle cave di salgemma.

3 - Se è necessario trasportare l'acqua ad un'altezza maggiore si può usare un sistema analogo. La ruota intorno all'asse dovrà però essere abbastanza grande da arrivare fino al piano cui si vuol portare l'acqua. Tutto intorno alla circonferenza si inchiodano allora dei piccoli secchi di forma quadrata, resi impermeabili con cera e pece. Quando la ruota sarà azionata a forza di piede dalla manodopera, i secchi giungeranno al sommo del loro giro pieni d'acqua, ma poi nel tornar giù, riverseranno il loro contenuto in un condotto.

4 - Dovendo rifornire d'acqua un luogo situato ancora più in alto, si fisserà sull'asse di una ruota del tipo descritto una doppia catena di ferro, lunga abbastanza da poter scendere fino al luogo da cui si dovrà attingere. In fondo a questa catena saranno appesi dei secchi di bronzo della misura di un congio (circa lt. 3,25). Facendo girare la ruota, la catena si avvolgerà sull'asse, traendo in alto i secchi: giunti sopra l'asse questi saranno costretti a rovesciarsi, riversando in un condotto quell'acqua di cui si saranno riempiti.[A18]

L'ampio uso di norie deve mettersi in relazione con due elementi: il gran numero di abitanti, circa 50.000, che Ostia presto raggiunse e la falda freatica a soli pochi metri di profondità. Dal primo derivò la ridondanza di terme e d'impianti industriali necessitanti di forti flussi d'acqua, dall'altro la facilità di attingerla ovunque, senza dover costruire alcun acquedotto. Chiunque, in pratica, poteva disporne a patto di scavare un piccolo pozzo e di sollevarla fino alla quota del suolo. A tale scopo fu adottata una noria di tre m di diametro, azionata da uno o due uomini, tramite un asse terminante in un pignone a punzoni che ingranava nella corona di una ruota a secchi. Per dislivelli maggiori occorreva una noria a catena: il tipo più semplice implicava una ruota motrice a gabbia di scoiattolo, del diametro di circa 3-5 m, fissata allo stesso asse di una ruota a impronte sulla quale ingranava la catena a secchi, spesso una coppia di funi.

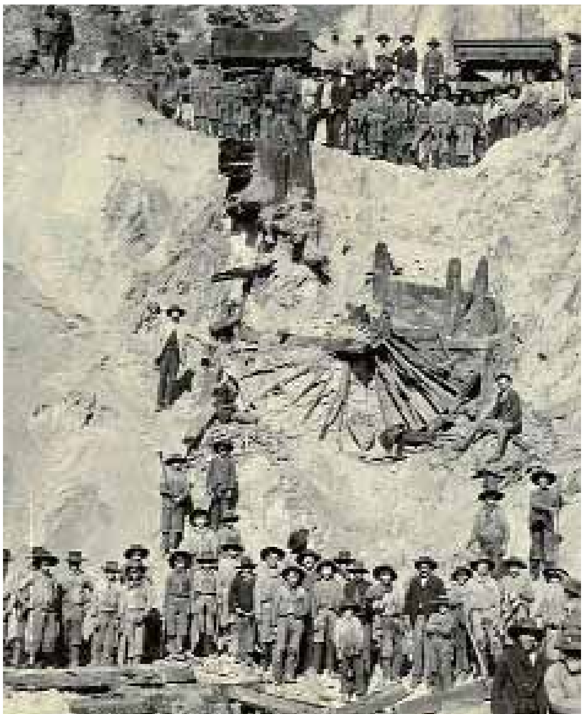
In genere non vi era la ruota di rinvio, bastando per la tensione di esercizio il peso dei secchi da sollevare; il dislivello, però, non poteva eccedere i 5-6 m. Per entità maggiori, non infrequenti negli impianti termali, si ricorse a norie a doppio salto, ovvero a una coppia di norie separate da un bacino di scambio intermedio. Anche in questo caso il moto era fornito tramite un rocchetto a punzone che ingranava in una corona a buchi, ricavata nel cerchione della noria, o con denti riportati sulla corona o esterni.

2.2 La noria della miniera di Rio Tinto

L'unico reperto pervenutoci, al di là delle tracce nei vani costruiti appositamente per il loro funzionamento, è una noria a cassette miracolosamente conservatasi nel sito dove venne istallata circa due millenni prima, senza quasi alcun degrado. Era adibita al drenaggio delle acque in una miniera spagnola, e verosimilmente fu abbandonata al suo posto con l'abbandono della miniera. Risponde perfettamente alla descrizione di Vitruvio per l'esattezza a quella del secondo tipo, sebbene il suo azionamento avveniva tramite dei leggeri sporti sulle cassette destinate ai piedi dei serventi, che la muovevano perciò come una ruota calcatoia, con l'unica differenza di azionarla dall'esterno.

Di pompe del genere, sebbene in condizioni di conservazione ben diverse, nella sola antica miniera romana di Rio Tinto, in Spagna, ne furono rinvenute una quarantina sul finire del 1800, entità che conferma l'ampio ricorso a macchine siffatte per l'evacuazione dell'acqua.

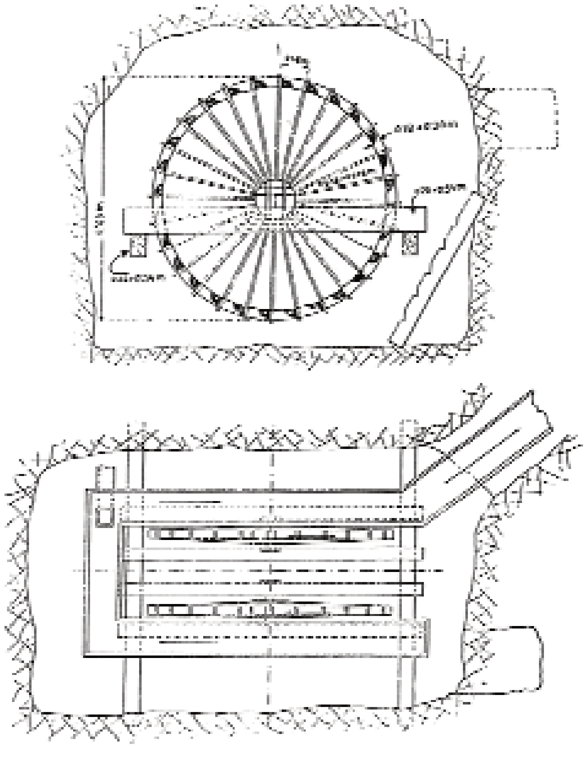
Noria di Rio Tinto: la foto del ritrovamento nel XIX secolo.



A18 Testo originale Allegato 18, in Allegati.

Tornando a quella in oggetto, la sua nota distintiva peculiare sono le 25 cassette, ciascuna della capacità di 12 litri, per un peso di esercizio pari a circa 150 kg, ricavate fra i due grandi cerchioni sempre di legno del diametro di 4 m, e munite di fori laterali rettangolari. Identica disposizione e connotazione nell'idrovora disegnata da Leonardo da Vinci nel *Ms G f. 93v*[19], e riprodotta pure da altri autori coevi, che costituisce perciò una implicita conferma della sopravvivenza nel corso del Medioevo di norie del genere. Recuperata e restaurata fornisce l'esatta determinazione metrica delle sue prestazioni:

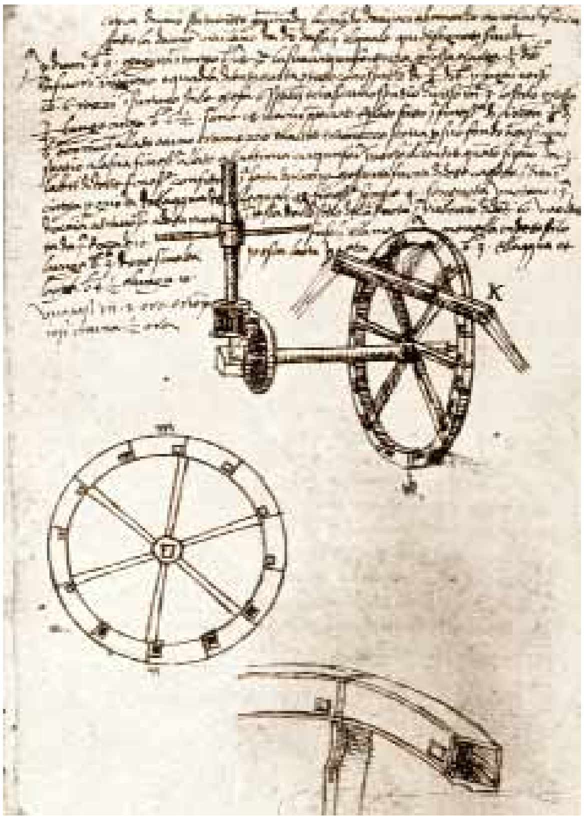
diametro Ø 400 cm;
prevalenza circa 4 m;
25 cassette da 12 litri cadauna;
400 mc di acqua sollevata al giorno.



2.3 *Le pompe idrauliche*

A differenza delle norie che sollevano l'acqua con lo stesso meccanismo e col medesimo criterio informatore impiegato dalle gru per sollevare dei pesi, le pompe ne provocano, invece, l'innalzamento per variazione di pressione, aspirando o comprimendo. Esistevano, tuttavia, dei tipi di pompa che solo molto parzialmente operavano in questo modo e che, a giusta ragione, potrebbero considerarsi una

Sopra: *La noria di Rio Tinto ricostruita.*
A fianco: *Schema collocazione della noria di Rio Tinto.*
Sotto: *Pagina del codice marciano di Benvenuto della Golpaia: si tratta di una copia del fol. 93v del ms. G di Leonardo da Vinci.*



19 Cfr. F. RUSSO, *Leonardo inventore? L'enigma di un testimone del passato scambiato per un profeta del futuro,* Napoli 2009.

via intermedia tra le norie e le pompe propriamente dette: la pompa a vite senza fine e la pompa a bindolo.

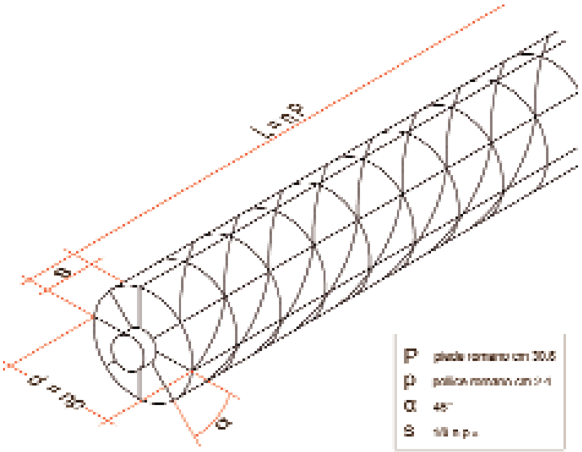
2.3.1 *La pompa a vite senza fine*

Quando il dislivello da superare era minimo, come ad esempio quello fra la superficie di un corso d'acqua e il terreno adiacente, si usava da tempo immemorabile, come accennato, un tipo ancora di pompa a funzionamento continuo: la coclea o vite di Archimede. A voler soltanto per sommi capi ricordare alcune delle odierne derivazioni da quel congegno, appare un elenco lunghissimo: si va dai piccoli elettrodomestici in cucina, come il tritacarne o la trafila per la pasta, ai grandi impianti di sollevamento idrovoro, alle trivelle, ai compattatori, ai torchi.

Non se ne aveva un preciso riscontro della sua effettiva presenza nell'antichità fino alla scoperta di un affresco di Pompei, che la raffigura dettagliatamente in funzione, e, più ancora, di un modellino rinvenuto in una tomba egizia degli inizi del I millennio a.C.. Così ne descrive Vitruvio la sua costruzione:[20]

20 VITRUVIO, lib. X, 6, 1-2-3.

Sotto: *Un affresco di Pompei raffigurante un coclea utilizzata per uso irriguo.*
In basso: *Il metodo geometrico di Vitruvio per costruire una coclea.*



1 - La lumaca è una specie di macchina che solleva una grande quantità di acqua, ma non così in alto come la noria. Ecco in che maniera si costruisce: si prende un trave di legno che abbia tanti piedi di lunghezza quante dita di spessore. Si renda rotondo con il compasso. Il cerchio alle sue opposte estremità si divida sempre con un compasso in quattro parti uguali, o in otto, conducendo dal centro del cerchio altrettanti raggi che costituiscono la suddivisione, e queste linee devono essere tracciate in modo tale, che con l'asse di legno poggiato per terra, le loro estremità coincidano perfettamente da entrambe le facce. Quindi da una faccia all'altra delle due estremità, si traccino le linee lungo l'intero asse lungo le quali si incidano degli intervalli uguali alla ottava parte della circonferenza; di modo che le suddivisioni, prese sulla lunghezza, siano pari a quelle sulla circonferenza. Si tirino poi intorno all'asse, in corrispondenza delle incisioni altrettante circonferenze, e si marchino i punti dove queste intersecheranno le linee.

2 - Affinché quanto descritto sia eseguito con precisione, si prenda una verga flessibile di salice o di vimini che, dopo essere stato spalmato di pece liquida, sia applicata sul primo punto. La si fa passare in seguito obliquamente sul punto successivo determinato dalla intersezione delle linee orizzontali e trasversali, ed avanzando gradatamente, dopo aver attraversato ogni punto girando, dopo aver collocato la verga su ogni intersezione, ed avervela fissata, si arriva dal primo punto all'ottavo, fino alla linea sulla quale si era iniziano a fissarla. Così, il percorso che le si fa seguire obliquamente attraverso otto punti della circonferenza, lo conduce regolarmente all'ottavo punto della linea longitudinale. La verga fissata obliquamente sulle intersezioni fra le linee dritte e le linee circolari, forma intorno al cilindro altrettanti solchi che si sono fatti delle divisioni, e questi solchi somigliano esattamente a quelli che la natura ha tracciato nelle lumache.

3 - Su queste prime verghe se ne applicano delle altre, spalmate ugualmente di pece liquida, e le si affianchi le une alle altre fino a che abbiano dato alla lumaca uno spessore uguale all'ottava parte della sua lunghezza. Su queste verghe, tutt'intorno alla macchina, si fissano dei listelli per coprire la spirale del canale. Dopo di che si ricoprono questi listelli di uno spesso strato di pece, e li si fissano con cerchi di ferro all'intorno, affinché la forza dell'acqua non li apra. Le due teste del cilindro armate ciascuna di un perno di ferro, sono circondate da

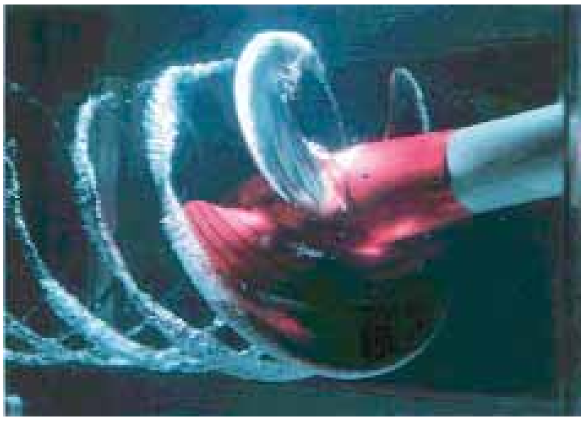
cerchi dello stesso metallo che si bloccano con dei chiodi. Poi a destra ed a sinistra di ciascuna testa della lumaca, si collocano dei pali le cui estremità sono fissate con delle traverse. Al centro di queste traverse si collocano due occhielli nei quali si fanno passare i pali e così la coclea viene fatta girare dai due uomini che la spingano con i piedi.[A19]

Consisteva, per grandi linee, in un albero di legno sagomato a forma di chiocciola, definito da Leonardo *vite senza fine*, collocato all'interno di un cilindro. Non a caso la coclea, come accennato, secondo la tradizione fu ispirata proprio dal guscio dell'umile lumaca, intorno al II millennio a.C. e studiata poi da Archita e perfezionata da Archimede. Il criterio della vite, trovò ampie applicazioni in meccanica e come organo di trasmissione del moto e d'incremento delle forze: tra gli esempi più noti i torchi rinvenuti a Pompei, a singola o a doppia vite ed alcuni speculi chirurgici. La vite, pertanto, dopo essere stata inventata si diffuse senza però divenire, paradossalmente, quello che invece è oggi soprattutto, l'organo di giuntaggio meccanico, pur essendo sempre una vite tutte le varie tipologie di eliche aeree e navali, di ventole, di trivelle, e persino di cavatappi!

Tornando alla coclea, o chiocciola, di Archimede, se posta in rotazione con una estremità immersa, l'acqua saliva al suo interno per una continua caduta, come acutamente osservò Leonardo, scendendo sempre, fino a fuoriuscire dall'estremità superiore del tubo. Grazie alla sua semplicità e affidabilità conobbe ampia adozione soprattutto in agricoltura: la sua validità trova conferma nell'essere stata usata in Egitto senza alterazione, fino a pochi anni fa.

A19 Testo originale Allegato 19, in Allegati.

Sotto: *Coclea per uso irriguo.*
A fianco, dall'alto: *Coclea per trivella; come organo di giuntaggio (bullone); come elica navale; come elica aerea.*

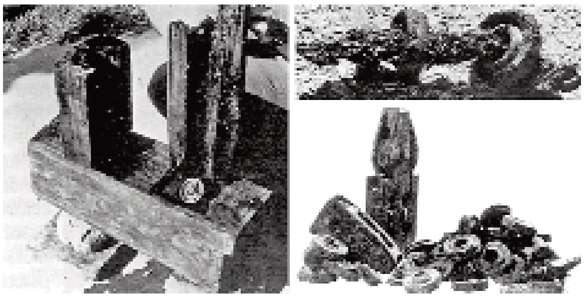


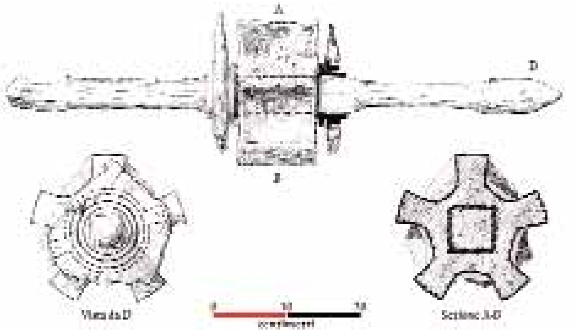
2.3.2 *La pompa a bindolo o a catena*

Si tratta di una pompa concettualmente affine alla noria sebbene vistosamente più piccola, per lo più d'impiego navale. I rari resti attribuiti a pompe del genere, infatti, sono stati rinvenuti nelle navi di Nemi e in altri relitti.[21] In quanto efficace per evacuare l'acqua dalle sentine, non fu mai dimessa e ciò ne spiega la costante presenza in tutti i disegni degli ingegneri rinascimentali. Del resto se ne conoscono alcuni esemplari fatti di ferro ed azionati da motori elettrici ancora in uso nel secolo scorso.

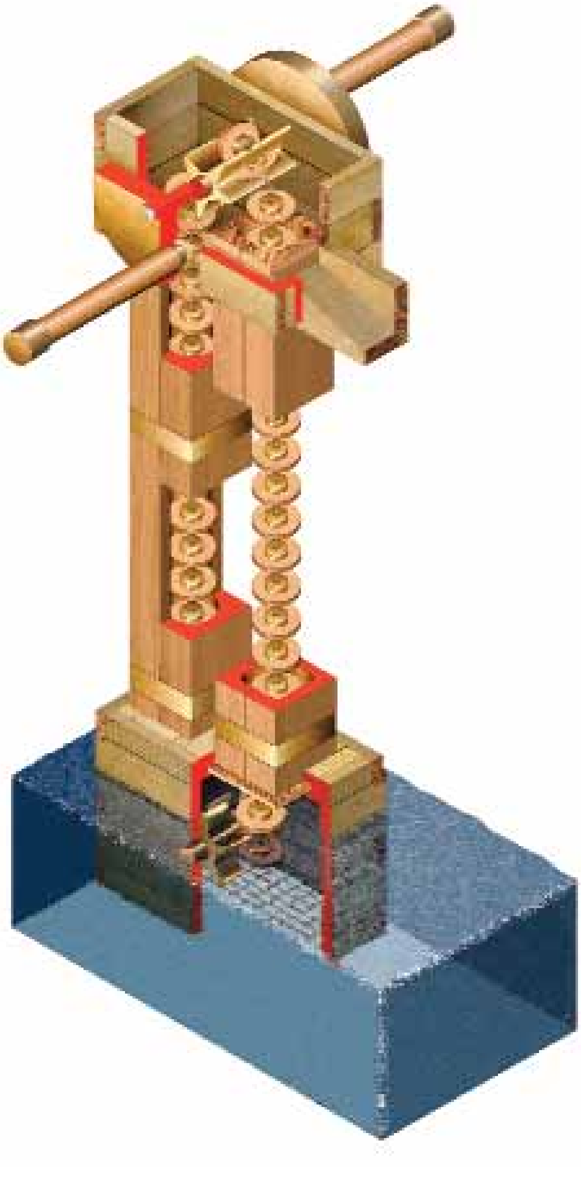
Constava di una fune, o di una catena, lunga diversi metri, fatta passare a intervalli regolari per il centro di piccoli dischi di bronzo o di legno, formando così una sorta di gigantesco rosario. Una sua metà correva all'interno di una canna di legno, di diametro appena

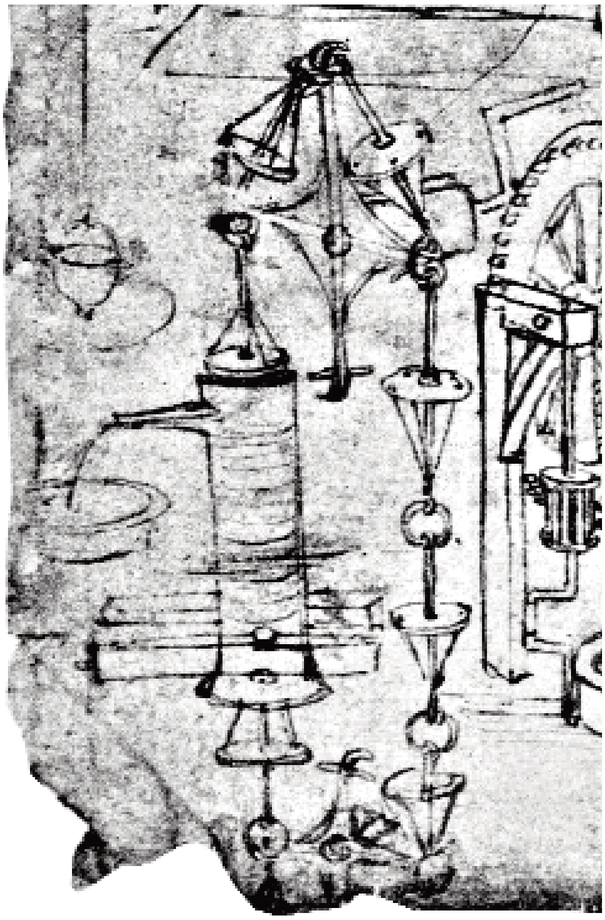
21 Circa la pompa a bindolo cfr. P. DELL'AMICO, *Navi e archeologia. Le ancore, i rostri, le sentine e i timoni*, supplemento della *Rivista Marittima,* febbraio 1999, pp. 107-134.





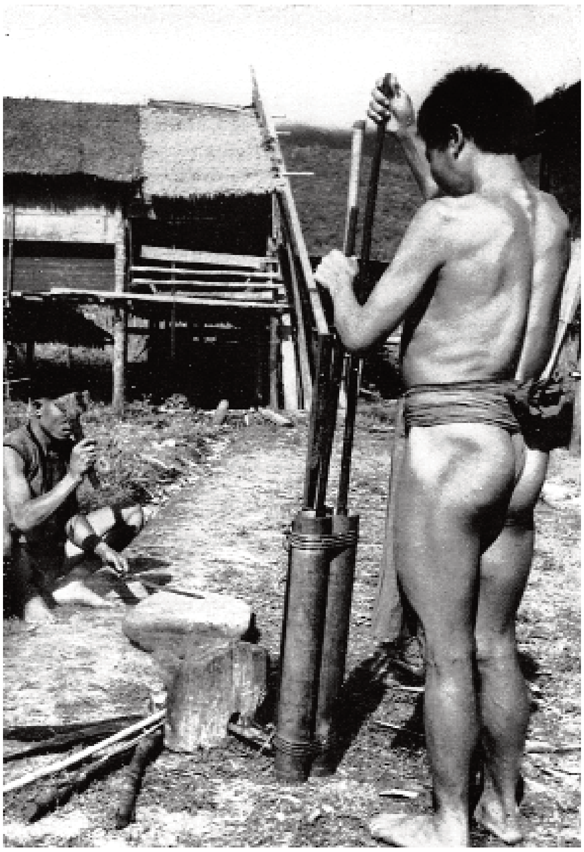
Sopra: *I reperti rinvenuti sulle navi di Nemi e relativi ad un pompa a bindolo; la ricostruzione grafica della manovella-ingranaggio rinvenuta sul relitto St. Gervais II, nel 1984.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale di un pompa a bindolo romana.*
Sotto: *Un pompa a bindolo in un codice di Francesco di Giorgio Martini.*





maggiore di quello dei dischetti, che finivano perciò per strofinarvi contro, come altrettanti stantuffi. La parte inferiore della canna stava immersa nell'acqua mentre quella superiore, con al fianco la bocchetta di emissione, era fissata al supporto d'una ruota ad impronte la quale, azionata da una manovella, poneva in rotazione la fune. Una seconda ruota simile, ma di semplice rinvio, stava collocata nel punto più basso della pompa, immersa nell'acqua. I dischetti vi giravano intorno, prima di entrare nella canna, catturando così una piccola quantità di acqua che sollevavano per scaricarla poi, usciti dalla stessa canna, nella tramoggia della bocchetta.

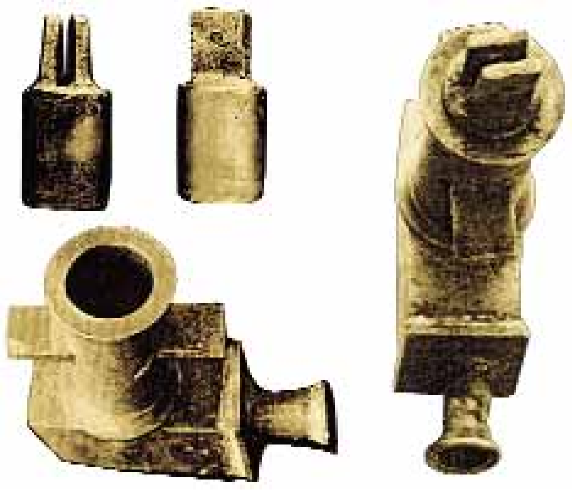
Nei mezzi navali, il vantaggio della pompa a bindolo stava nell'estrema semplicità costruttiva e nell'essere azionata dal ponte di coperta, evitando così ai marinai, intenti alla sua manovra, il rischio di restare intrappolati in caso di affondamento.



2.3.3 *La pompa a doppio effetto*

La noria a catena di tazze, pur sollevando l'acqua a discreta altezza, non le forniva alcuna pressione residua all'uscita, per cui non si prestava a proiettarla a getti. L'effetto, che può apparire meramente estetico, ma che in realtà trovava una precisa esigenza nelle pompe antincendio, come pure in quelle di evacuazione navale nel caso di imbarcazioni di una discreta stazza, fu ottenuto grazie ad un cilindro munito di stantuffo. L'invenzione è ascritta a Ctesibio. Suo tramite era possibile scaricare l'acqua aspirata con una discreta pressione: facendola poi passare attraverso

In alto a destra: *Mantici a doppio cilindro in uso presso alcune tribù primitive.*
Sotto: *Resti archeologici di elementi di pompa a doppio effetto.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale in sezione di un elemento e, in dettaglio, di una sua valvola di non ritorno.*



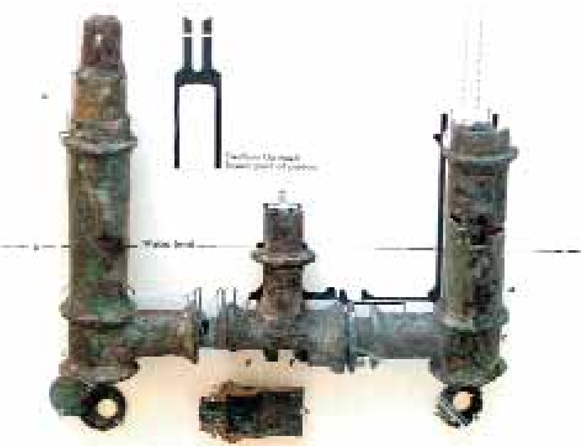
uno stretto ugello, la si trasformava in un lungo getto. Per evitargli un andamento intermittente ben presto si accoppiarono due cilindri, operanti a fasi alterne, di modo che quando uno stantuffo era sollevato, l'altro era abbassato. L'idea non era di per sé nuova, ritrovandosi a livello archetipale in mantici primitivi realizzati con due canne di bambù. Probabile che questi fossero stati, in qualche circostanza, osservati e studiati dagli scienziati al seguito di Alessandro.

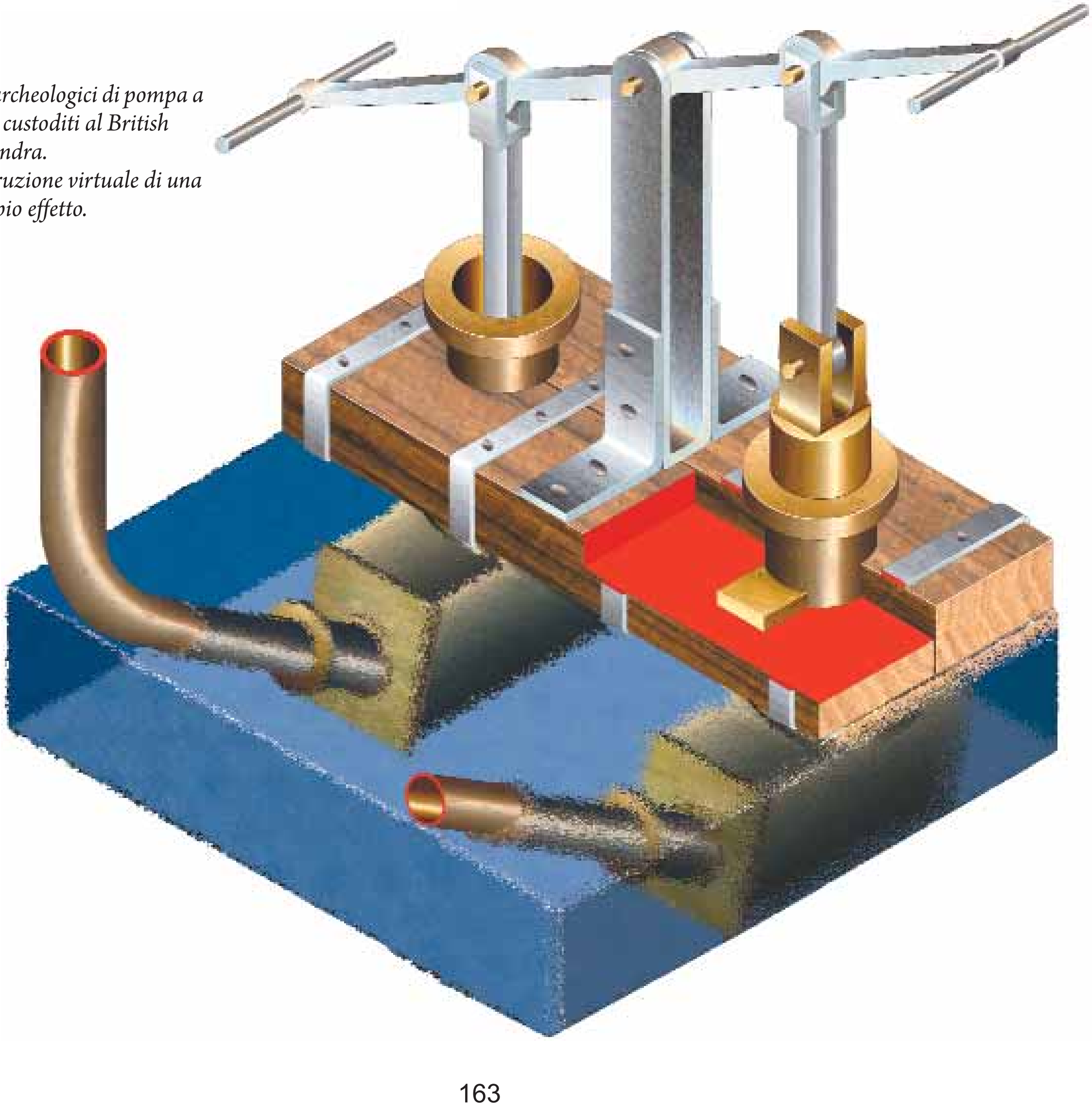
Ancora una volta è Vitruvio a lasciarcene una dettagliata descrizione, che in questo caso trova un ampio conforto nei diversi esemplari d'epoca romana rinvenuti in discreto stato di conservazione sia di legno che di bronzo. Così Vitruvio[22]:

1 - Vengo ora a parlare della macchina di Ctesibio che fa salire l'acqua a grande altezza. Si costruisce di bronzo: alla base di questa macchina si collocano due, a breve distanza fra loro, due cilindri uguali ai quali si adattano dei tubi che in forma di forca si vanno a collegare ad un piccolo serbatoio posto fra le due bocchette. In questo serbatoio sono praticate due valvole che si adattano perfettamente all'orifizio superiore dei tubi [valvole di non ritorno]*, bloccandoli ermeticamente, per evitare che quanto spinto dall'aria nel serbatoio possa da qui sfuggire.*

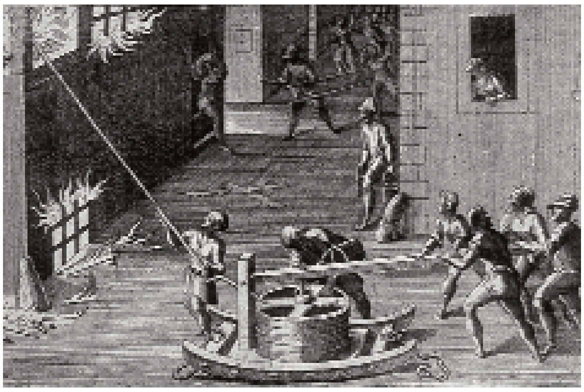
2 - Si collega a questo serbatoio una cappa simile ad un imbuto rovesciato, e lo si blocca per mezzo di chiavette, di modo che la pressione impressa all'acqua non possa farlo saltare. Si salda alla cappa,

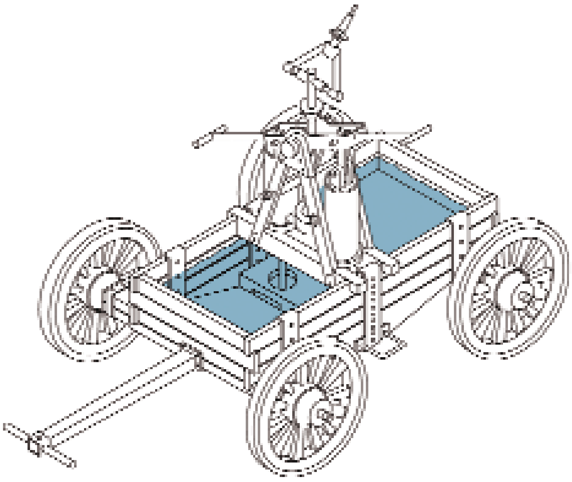
22 VITRUVIO, *De architectura*, lib. X, 7, 1-2-3.





Sopra: *Resti archeologici di pompa a doppio effetto custoditi al British Museum a Londra.*
Sotto: *Ricostruzione virtuale di una pompa a doppio effetto.*





In alto: *Stampa raffigurante la pompa antincendio concepita da Ctesibio, descritta da Vitruvio e data in dotazione al corpo dei 'vigili del fuoco' romani.*
A fianco: *Ricostruzione grafica di un modello della stessa montato su ruote.*
Sopra: *Alcune pompe a doppio effetto, verosimilmente del XIX sec., custodite nel Museo Storico dei Vigili del Fuoco.*

perpendicolarmente al di sotto, un altro tubo che viene chiamato tromba. I due cilindri hanno sotto l'orifizio inferiore dei tubi, due valvole che chiudono i fori che hanno sul fondo.

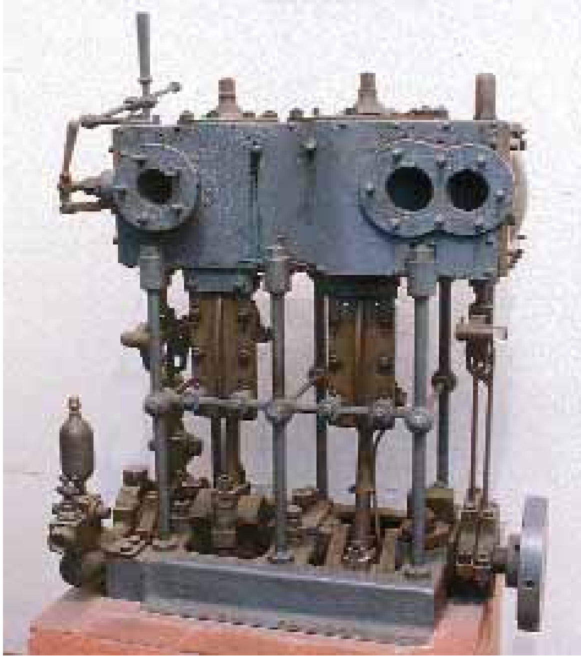
3 - Successivamente si fanno entrare, dall'alto nei cilindri degli stantuffi, lucidati al tornio e cosparsi di olio. Questi stantuffi, una volta inseriti nei cilindri, sono mossi tramite regoli e leve; quindi per il movimento ripetuto che li fa salire e scendere, comprimono l'aria e l'acqua che vi era entrata, avendo le valvole chiuse le aperture da cui era entrata nei cilindri. Allora l'acqua è costretta dalla compressione, a penetrare dalle aperture dei tubi nel piccolo serbatoio, dove l'aria compressa sotto la cappa la fa uscire dalla tromba verso l'alto; per questa ragione, l'acqua può essere alzata da un punto in basso ad un serbatoio per formare una corrente.[A20]

La macchina così realizzata e che sarà definita in seguito *pompa a doppio effetto*, fu per gli antichi soltanto la *ctesibica machina* e forniva un getto di acqua non ancora perfettamente continuo ma pulsante, inconveniente ovviato con una sorta di stabilizzatore, in pratica una scatola di compensazione munita di valvole di non ritorno. Proprio per la sua capacità di lanciare getti d'acqua ad una considerevole distanza, questa pompa fu usata non solo per spegnere gli incendi ma anche, molto probabilmente, per appiccarli, nel cosiddetto sifone proiettore di fuoco greco.

A20 Testo originale Allegato 20, in Allegati.

3. Invenzioni derivate

Per la loro complessità meccanica, come del resto per le difficoltà insite nella loro costruzione, non stupisce che dalle pompe di vario tipo trassero origine un gran numero di invenzioni, che trovarono applicazione nei più svariati ambiti della tecnologia. Dalla pompa a bindolo si ebbero, ad esempio, due derivazioni, rimaste fondamentali per la meccanica: il volano e la manovella. Dalla pompa a doppio effetto una gamma molto maggiore, basti pensare che il suo criterio informatore, il cilindro con stantuffo, è alla base di tutti gli odierni motori alternativi, di tutti gli attuatori idraulici, di tutte le siringhe per uso medico, di tutti gli irroratori a mano e, non ultimo, delle armi da fuoco! Ma già nell'antichità se ne ebbero per lo meno di curiose, come quella dell'organo ad acqua, e della balista a molle d'aria, che sarà però esposta nella parte relativa all'aria.

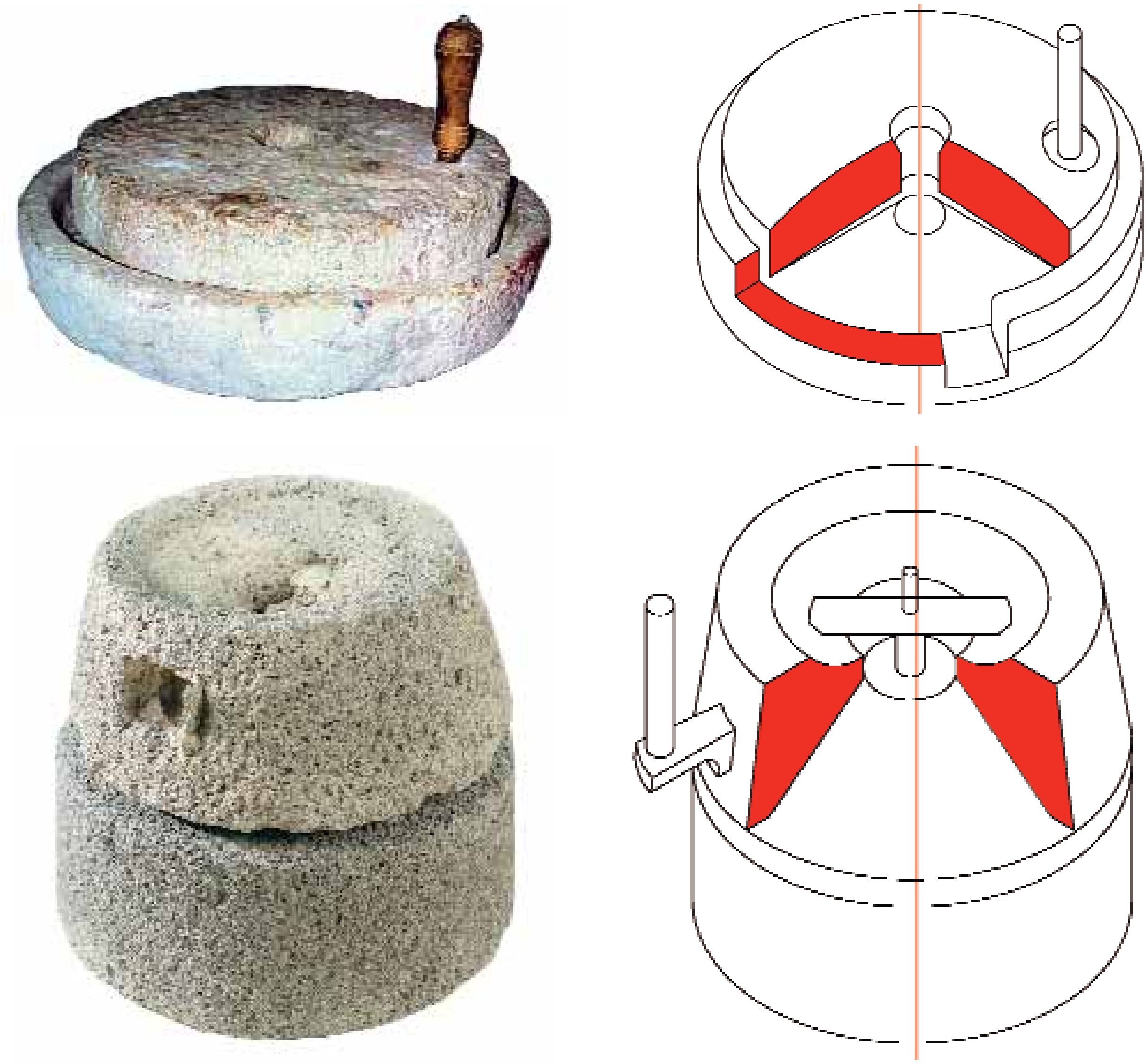


Sopra: *Locandina pubblicitaria di un irroratore a mano.*
A fianco, dall'alto: *Cilindro e stantuffo di una vecchia vaporiera; cilindri e pistoni nel motore a vapore; attuatori idraulici di pala meccanica; siringa per uso sanitario.*

3.1 Il volano e la manovella

Le diverse pompe appena delineate, presuppongono un congegno di collegamento alla fonte energetica. Nel caso fosse stato il braccio umano occorreva anche un dispositivo idoneo allo scopo, capace cioè di trasformare un movimento necessariamente *di va e vieni* in uno soltanto rotativo: in pratica una leva angolata che, senza eccessive perdite ergonomiche, lo permettesse agevolmente. Nulla di meglio della manovella, che non a caso significa etimologicamente *manu volvere, girare con la mano*. La maggioranza degli storici della tecnologia, tuttavia, ne colloca se non l'invenzione, l'indubbia diffusione nel Medioevo[23],

23 Cfr. L. WHITE jr, *Tecnica e società nel Medioevo*, terza edizione Milano 1976, pp. 175.



Sopra: *Mulini a mano di epoca classica con, a fianco, le ricostruzioni grafiche con manovella inserita.*

conclusione che sembra contrastare vivamente con diversi congegni dell'età classica, fra i quali due, ben noti, azionati da un'embrionale manovella: la macina portatile a dischi di pietra sovrapposti, usata sin dalla preistoria dai popoli nomadi, e la pompa a bindolo presente sulle navi di Nemi.

Il piccolo mulino a mano, ancora correntemente utilizzato da popolazioni a basso livello tecnologico, ci è pervenuto in vari esemplari perfettamente conservati[24]; e ciò elimina qualsiasi incertezza al riguardo. Considerando, poi, che ogni otto legionari vi era un mulino portatile, è probabile che proprio da quello sia stata tratta la manovella che si ritrova sulle navi di Nemi e, verosimilmente, in molte altre macchine non pervenuteci. Dal punto di vista meccanico era costituita da un disco di legno, o di metallo, che nel caso del mulino era la stessa macina, fissato ad un asse centrale e recante sulla sua corona un manico parallelo all'asse stesso. Col tempo il disco venne progressivamente ridotto fino a divenire una spranga di raccordo fra il manico e l'asse, più o meno lunga e spessa secondo la funzione prevista e lo sforzo necessario.

La versione con disco, appena descritta, presenta un secondo aspetto meccanico interessante: per la sua massa equilibrata e rotante si comporta anche da volano, altro elemento sulla cui origine sussistono ampie divergenze tra gli studiosi.

24 Cfr. A. UCCELLI, *Enciclopedia storica delle scienze e delle loro applicazioni*, Milano 1942, vol. II, p. 618. Circa i mulini a mano, ancora correntemente usati dalle popolazioni nomadi senza sostanziali modifiche rispetto a quelli di epoca classica, cfr. G. CHIAUZZI, *Africa settentrionale*, Novara 1982, p. 60, foto di Gebès.

3.2 *L'organo ad acqua*

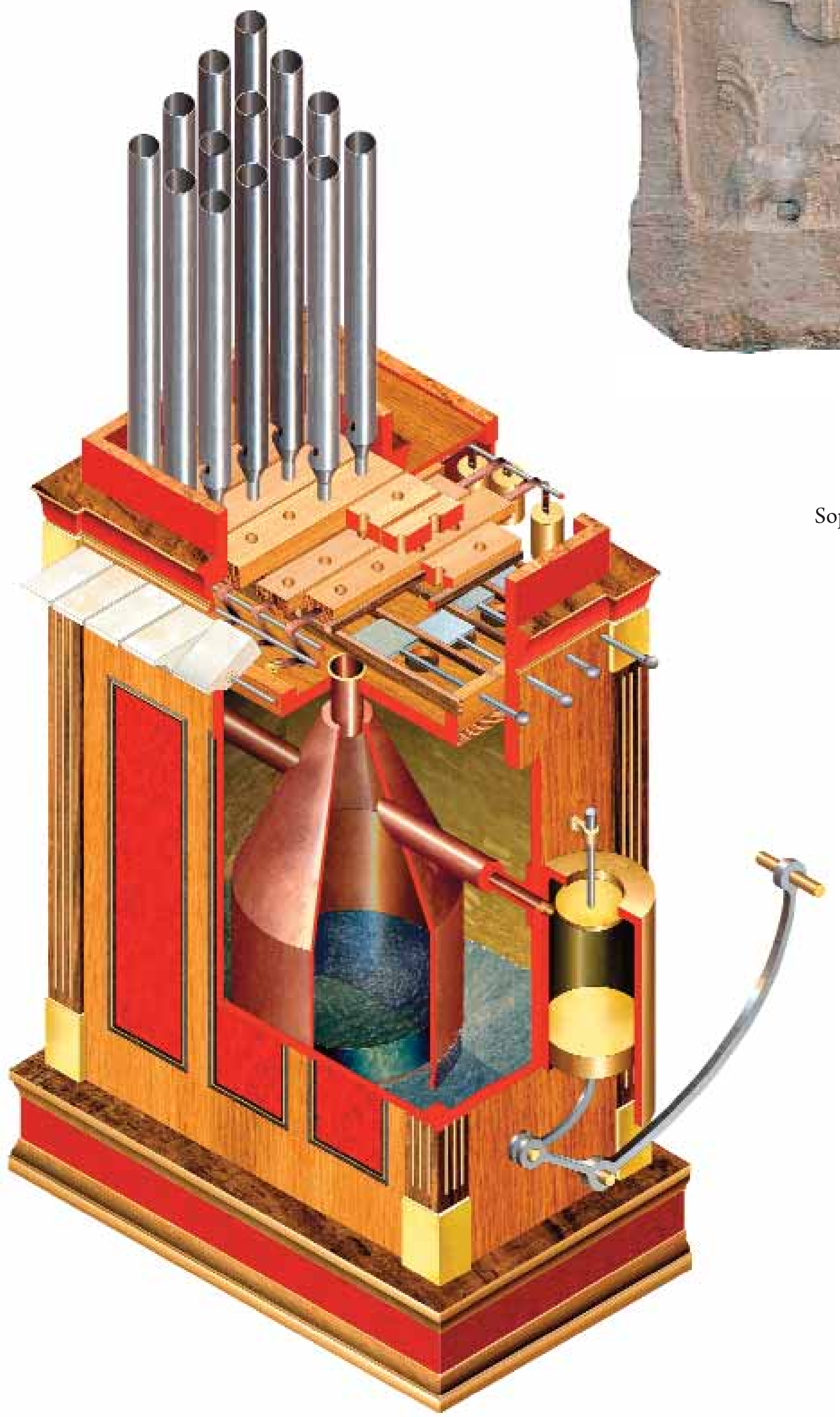
L'organo, in linea di massima, è il perfezionamento gigante dello zufolo pastorale: una fuga di canne di diversi diametri e lunghezze, strettamente affiancate fra loro in modo tale che soffiando, ora nell'una ora nell'altra, se ne ricavava un sequenza di suoni diversi. E se a questo per ottenere una variazione armonica bisognava far scorrere dinanzi alle labbra le varie canne, a quello, per ovvie ragioni, occorre inviare l'aria compressa direttamente alle varie canne, secondo il medesimo criterio musicale. Allo scopo pertanto si dovette elaborare un congegno per la produzione e la distribuzione dell'aria compressa, che per intuibili ragioni doveva avere una pressione sostanzialmente stabile, caratteristica che può considerarsi la vera e principale novità dello strumento, di cospicua complessità meccanica.

Trasformando lo strumento pastorale in qualcosa di più sofisticato, infatti, restava comunque fattore comune l'alimentazione ad aria compressa e la distribuzione comandata della stessa ad una determinata canna, in modo da ottenerne precise note sonore. La soluzione di per sé, teoricamente, non difficile trattandosi di far giungere a delle canne metalliche, di stagno o di bronzo, con dei piccoli condotti l'aria compressa, prodotta da un paio di mantici, lo diveniva nella costruzione di apposite chiavette di rapido comando e di assoluta tenuta, senza contare la necessità di stabilizzare la pressione prodotta dai mantici a soffietto o a cilindri, inevitabilmente pulsante e, soprattutto, oscillante in una notevole escursione. Quest'ultima, infatti, dipendeva dal minore o maggiore prelievo d'aria delle canne, funzione a sua volta del brano musicale e del suo volume, ma anche dalla maggiore o minore velocità di manovra dei mantici. Nei casi peggiori da un certo momento la pressione diventava insufficiente rendendo flebile il suono: Ctesibio trovò la soluzione, da allora in sostanza immutata come criterio informatore[25] e Vitruvio ce ne ha lasciato un dettagliato riscontro in questi termini:

1 - Non mancherò di spiegare il meccanismo degli organi idraulici messo in funzione per mezzo dell'acqua; ma cercherò di esporlo nella maniera più succinta e con il minor numero di parole possibile. Su di un basamento di legno, si mette una cassa di rame; da questa si dipartono a destra ed a sinistra

25 L'organo ad acqua di Ctesibio è descritto da VITRUVIO, *De architectura*, lib. X, 13.

A fianco, dall'alto: *Bassorilievo romano raffigurante uno zufolo; stampa con satiro che suona lo zufolo; uno zufolo attuale.*



Sopra: *Bassorilievo di epoca imperiale raffigurante un organo ad acqua.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale dell'organo ad acqua così come concepito da Ctesibio e descritto da Vitruvio.*

Bassorilievo di epoca imperiale raffigurante dei suonatori con delle trombe ed un organo ad acqua.

due regoli a forma di scala, che contengono due cilindri di rame, con degli stantuffi perfettamente regolarizzati al tornio che hanno al centro fissati dei bracci di ferro, congiunti con delle leve incernierati, sono avvolti in pelle e guarniti di lana. Sulle piastre superiori dei cilindri vi sono dei fori di tre dita di diametro, ed in questi fori sono collocati dei delfini di bronzo incernierati, dai quali pendono delle catenelle nei fori con attaccati dei coni di bronzo, che stanno in basso nei cilindri.

2 - Nella cassa dove l'acqua è contenuta vi è una cappa a forma di imbuto rovesciato, sotto la quale si pongono dei tasselli alti circa tre dita, per lasciare quello spazio tra il suo bordo inferiore e il fondo dell'arca. Al centro del suo collo, che va a restringersi, è saldato un cassetto che sostiene la parte superiore della macchina, chiamato in greco 'canon musicos': questa parte ha nella sua lunghezza quattro canali, se l'organo è a quattro tasti; sei se è a sei; otto se è a otto.

3 - Ciascun canale ha una chiusura con una chiavetta di ferro: questa quando girata lascia passare nel canale l'aria compressa nella cassa. Lungo questi canali che attraversano il 'canon' vi sono una serie di fori che corrispondono a degli altri che sono nella tavola superiore, chiamata in greco 'pinax'. Tra questa tavola e il 'canon' sono posti dei regoli, forati nello stesso modo e cosparsi di olio, per muoverli facilmente, con dei pesi di rinvio. La loro funzione è di bloccare i fori che sono lungo il canale: si chiamano 'pleuritide': allorquando vanno o vengono, danno o tolgono l'aria alle canne.

4 - Questi regoli hanno dei rinvii di ferro che li tengono attaccati a dei tasti; quando questi sono toccati, fanno spostare i regoli. Al centro della tavola vi sono dei fori che lasciano uscire l'aria delle canne. Ad altri regoli ancora sono saldati degli anelli nei quali sono fissate le punte di tutte canne. Dopo i cilindri fino al collo, corrono uno a fianco all'altro dei condotti che comunicano con i fori della cassa. In questi fori sono collocate delle chiavette che li serrano ermeticamente, non lasciando uscire l'aria che resta nella cassa.

5 - Così quando si alzano le leve, i gomiti di ferro fanno abbassare gli stantuffi fino in fondo ai cilindri, facendo scendere i coni, dando ingresso all'aria che li riempie. Poi i gomiti di ferro, con un movimento rapido impresso agli stantuffi, li fanno salire nei cilindri, bloccando nello stesso tempo gli sfoghi con i coni per la pressione all'interno dell'aria, forzando quest'aria, compressa dentro i cilindri con gli stantuffi, a passare nei condotti attraverso i quali si precipita nel serbatoio e da quello per il suo collo nella cassa. Così l'aria molto compressa per le frequenti oscillazioni delle leve, entra dalle aperture delle chiavette e riempie i canali.

6 - Pertanto quando una mano abile tocca i tasti, e sposta continuamente i regoli, ora aprendoli ora chiudendoli, il passaggio dell'aria produce una grande armonia per le numerose varietà di suoni.[A21]

A renderne più chiara l'esatta interpretazione contribuiscono alcune raffigurazioni dell'organo ad acqua, sia in bassorilievo che in mosaico, estremamente dettagliate, nonché il rinvenimento dei resti di un esemplare, in discrete condizioni di conservazione. In base a ciò si può affermare che Ctesibio utilizzando come mantici una coppia di cilindri con stantuffi, azionati alternativamente da apposite leve snodate, subito dopo le valvole di non ritorno, mandò i due rispettivi tubi ad una sorta di campana posta all'interno di un serbatoio parzialmente colmo d'acqua. Dalla campana usciva un terzo tubo che portava l'aria alla tastiera, da dove era distribuita tramite registri e tasti, simili agli attuali degli organi, alle canne. Agendo sui mantici, nella campana la pressione dell'aria aumentava, abbassando perciò il livello dell'acqua, mentre il suo prelievo per le canne riducendola, ne faceva di nuovo alzare il livello. L'acqua, pertanto, variando di livello, stabilizzava la pressione dell'aria, per cui si comportava nella stessa maniera di quanto avviene in un odierno gazometro, dove la produzione del gas fa salire il serbatoio ed il consumo lo fa scendere, provvedendo il peso dello stesso a stabilizzare la pressione. Nella fattispecie, corrispondeva alla grossa vescica delle cornamusa, o zampogna o ciaramella, che con lo schiacciamento del braccio sinistro eroga sempre la medesima pressione.

A21 Testo originale Allegato 21, in Allegati.

4. Acqua e città

Diversamente dalle società nomadi che conducono le loro mandrie dove vi è abbondanza d'acqua e quindi di pascolo, spostandosi perciò continuamente, per le società agricole il criterio fu sempre antitetico; dal momento che i campi non potevano di certo andare verso l'acqua, s'imponeva che questa fosse in qualche modo canalizzata verso gli stessi. Dal che una società sedentaria, nella quale la sopravvivenza derivava dalle capacità tecniche, connesse con l'irrigazione, che determinando insediamenti sempre più popolosi richiese che anche l'acqua potabile fosse adiacente e disponibile in notevoli quantità, potenzialità piuttosto rara in natura, e sopperita con la sua captazione laddove abbondante e pura, e con la conduzione anche per distanze enormi mediante apposite canalizzazioni, dette acquedotti. Da quei remoti giorni città, da cui *civiltà*, e acqua divennero rigidamente interdipendenti, non essendo in alcun modo possibile l'una senza l'abbondanza dell'altra.

4.1 Gli acquedotti sotterranei

Il sistema di captazione sotterranea e di conduzione in galleria dell'acqua fino alla sua destinazione d'uso fu adottato, se non pure inventato, intorno al II millennio a.C., massicciamente in Iran, dove ancora oggi è largamente impiegato, per esigenze alimentari e irrigue. Il suo criterio informatore come il nome, *qanat*, si diffuse rapidamente in tutte le regioni aride del Mediterraneo ed alle sue spalle si riscontrano sempre dei cospicui centri abitati o delle rilevanti aziende agricole, non giustificandosi altrimenti gli oneri ingenti di costruzione e manutenzione. In pratica: "*il sistema qanat è costituito da canali sotterranei che per gravità portano l'acqua dalle falde acquifere degli altipiani ad affiorar sulla superficie dei bassipiani. I qanat dell'Iran furono costruiti su una scala tale da rivaleggiare con i grandi acquedotti dell'Impero romano, ma mentre gli acquedotti romani rappresentano oggi solamente una curiosità storica, il sistema iraniano è ancora in uso dopo 3.000 anni e si è continuamente ampliato.*"[26]

Più in generale va ricordato che durante: "*il II millennio a.C., in una vasta area dall'Oriente al bacino Mediterraneo, venne messa a punto la tecnica di costruzione di acquedotti sotterranei, dotati di cunicoli che seguivano la conformazione del suolo ed erano muniti di pozzetti verticali per l'aerazione o di veri e propri trafori in roccia come quelli di Eupalino a Samo... È difficile, oggi, perfino immaginare la durezza del lavoro necessario per realizzare opere in scavo sotterraneo con allontanamento del materiale di risulta attraverso i fori verticali di aerazione...*"[27] Senza contare che oltre alla durezza vi erano enormi rischi che minacciavano gli scavatori, tant'è che nelle pagine di Vitruvio s'incontra il primo riferimento alla presenza di gas tossici nei pozzi ed a come rendersene conto, con questo semplice espediente[28]:

13 - Per prevenire questi pericoli [asfissia ed intossicazione da ristagni di gas]*, ecco come fare. Si discenda nel pozzo tenendo una lampada accesa: se continua a bruciare senza mutazioni, non vi è alcun rischio a proseguire. Se invece per la forza del vapore* [gas] *la lampada si spegne, si dovrà allora, a destra e a sinistra del pozzo, scavare degli sfiati: da queste aperture il vapore potrà fuoriuscire, come dalla ciminiera di un forno. Quando il lavoro sarà completato e l'acqua comparirà, si costruirà la muratura del pozzo, di modo che non vi siano più spiragli.*[A22]

Proprio per meglio conoscere l'insieme delle problematiche tecniche connesse con la loro costruzione e le peculiarità distintive, va ricordato che: "*nell'Iran vi sono circa 22.000 qanat che comprendono più di 300.000 chilometri di canali sotterranei. Il sistema fornisce il 75 % di tutta l'acqua usata nel paese, non solo per l'irrigazione ma anche per usi domestici. Fino a poco tempo fa... i due milioni di abitanti di Teheran dipendevano per il loro intero rifornimento di acqua da un sistema di qanat che provvedeva ad attingere l'acqua dalle colline ai piedi del monte Elbrus...*"[29] Venendo alle modalità di costruzione, ben note anche ai tecnici romani e sebbene sporadicamente varie volte adottate, così si propongono immutabili: "*un sistema di qanat è di solito scavato nel pendio di una montagna o nella parte collinosa dove il materiale trascinato lungo il pendio forma un deposito alluvionale. L'incaricato della esplorazione esamina attentamente queste formazioni... generalmente durante l'autunno, cercando tracce di infiltrazioni in superficie... Localizzato un punto promettente, organizza lo scavo di un pozzo per il sondaggio.*

Due scavatori... danno poi inizio all'opera: fissano un verricello alla superficie per sollevare il materiale

26 Da H. E. WULF, *I qanat dell'Iran*, in *Paleontologia e Archeologia dal Paleolitico all'Antichità Classica*, Milano 1973, p. 114.

27 Da B. MICCIO, U. POTENZA, *Gli acquedotti di Napoli*, Gaeta 1994, p. 9.

28 VITRUVIO, *De architectura*, lib. VIII, 6,13.

A22 Testo originale Allegato22, in Allegati.

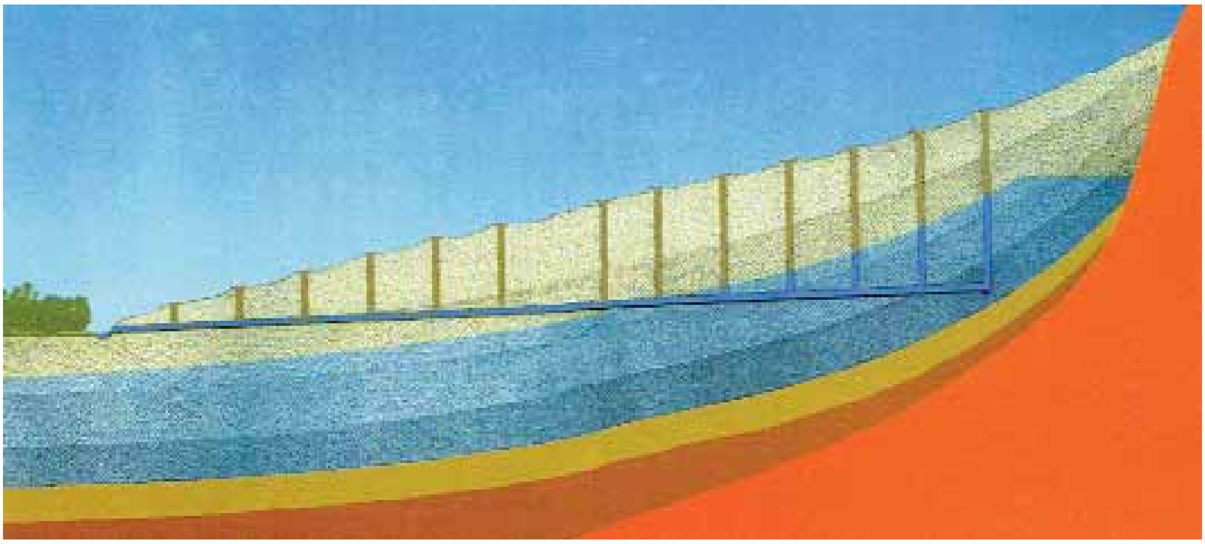
29 Da H. E. WULF, *I qanat...*, cit., p. 114.

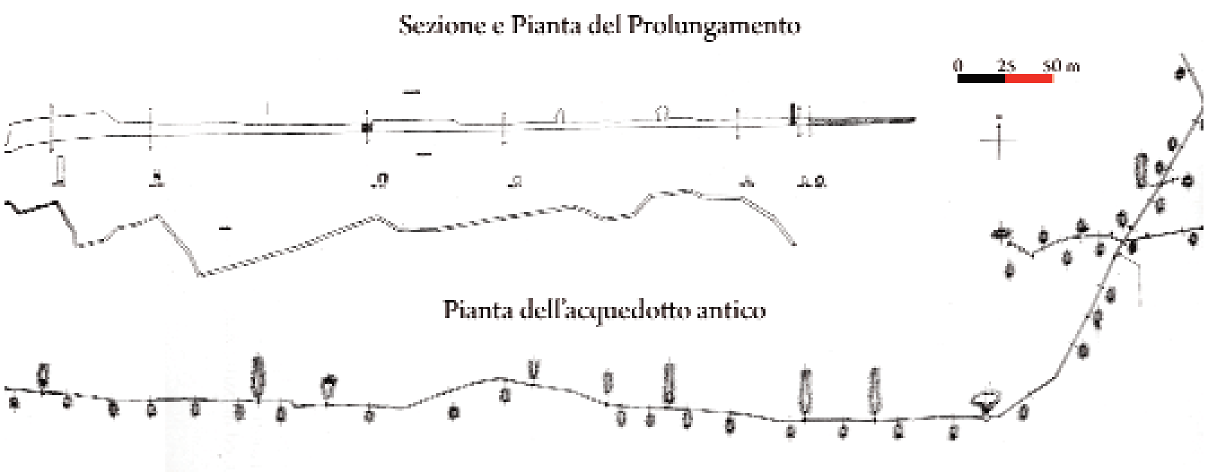
di scavo mediante secchie di cuoio e procedono a scavare un pozzo verticale di circa un metro di diametro; un uomo lavora con una zappa, e l'altro con una vanga dal manico corto. Non appena hanno scaricato il materiale nelle secchie, due operai alla superficie lo sollevano con il verricello e lo ammucchiano intorno all'imboccatura del pozzo. Se sono fortunati gli scavatori possono imbattersi in una falda d'acqua alla profondità di 15 m, o anche meno. Alle volte tuttavia essi scavano fino alla profondità di 60-90 m prima di arrivare all'acqua."[30]

Va osservato che la tecnica di scavo adottata è la stessa in uso per le coltivazioni minerarie, che non a caso spesso s'imbattevano nella falda freatica, che dovevano in vari modo evacuare. Nei *qanat*, invece, raggiunta la falda veniva valutata da un esperto la sua potenziale portata e la direzione da dare allo scavo per farlo emergere dove il terreno è più basso, insieme alla vena d'acqua catturata. Quanto alla pendenza da dare alla galleria: "*viene scelto un gradiente compreso fra 1/550 ed 1/500 circa; il gradiente deve essere lieve affinché l'acqua fluisca lentamente e non asporti materiale dal fondo della canalizzazione né la danneggi in qualche altro modo. Per queste misure l'esperto usa strumenti molto semplici: una lunga corda e una livella...*"[31] Quanto alle dimensioni dei cunicoli sono in media di circa 1 m di larghezza ed 1.5 m di altezza: l'allineamento dello scavo è garantito dalle lampade ad

30 Da H. E. WULF, *I qanat...*, cit., p. 116.
31 *Ibid.* p.117.

In alto: *Veduta satellitare di un'area attraversata nel sottosuolo da un qanat. Si notano i pozzi.*
A fianco: *Alcuni pozzi di qanat misti a parti collassate.*
In basso: *Sezione schematica di un qanat.*





Sopra: *Planimetria e sezioni del presunto qanat di Faicchio.*
A fianco: *Un pozzo di areazione del medesimo.*
Sotto: *Scorcio interno del presunto qanat.*

olio disposte ad intervalli regolari. La lunghezza complessiva è variabile fra i 10 ed i 18 km, come del resto anche la quantità d'acqua.

Come accennato, i *qanat* furono una caratteristiche delle regioni aride, ma qualche volta i Romani ne costruirono anche in Italia per assicurarsi un costante flusso d'acqua. Un esempio ritenuto tale, ma molto più verosimilmente un avanzo d'impianto minerario, si trova presso l'abitato di Faicchio, Benevento: fatto risalire al III sec. a.C. è lungo oltre 1 km, con vari pozzi di aerazione.[32]

4.2 Gli acquedotti soprelevati

I Romani intuirono, rapidamente, l'importanza basilare che l'ampia disponibilità di acqua svolgeva nella vita della città. Forse dipese dall'aver fondato la loro capitale in riva ad un fiume, secondo un impianto che sarebbe stato comune a tutte le maggiori città europee, forse dalle loro peculiari abitudini igieniche notevolmente avanzate. Di sicuro una costante preoccupazione dei tecnici legionari fu quella di condurre nelle città grandi quantitativi d'acqua potabile, mediante enormi acquedotti, veri fiumi artificiali pensili. Il criterio di adduzione dell'acqua adottato sistematicamente dai Romani era, in sostanza, naturale: un canale a volte scavato nella roccia o nel tufo ma per lo più in muratura, detto *specus* o *canalis,* a lieve pendenza nel quale scorreva un flusso continuo, per semplice gravità.[33] Dal momento che in esso la superficie dell'acqua, propriamente detta *pelo*, non

32 Per ulteriori approfondimenti cfr. F. RUSSO, *Faicchio fortificazioni sannite e romane,* Piedimonte Matese 1999, pp. 137-157.
33 Cfr. B. MICCIO, U. POTENZA, *Gli acquedotti...,* cit., pp. 8-20.

lambiva la copertura, si definisce tecnicamente a *pelo libero.* È questa la maniera più semplice per condurre l'acqua in rilevanti quantità; tuttavia allorché avviene su tratte non di rado prossime al centinaio di chilometri, le difficoltà divengono subito evidenti. Prime fra tutte la corretta determinazione delle quote di tracciato, che suppongono a loro volta una meticolosa levata topografica con strumenti di assoluta precisione, in precedenza già descritti. Fondamentale, infatti, era l'esatta misura del dislivello fra la quota della sorgente o captazione, *caput aquae,* e quella dell'immissione in rete, *castellum aquae.*

Dal dislivello si stabiliva la pendenza dell'intero acquedotto, in maniera tale che l'acqua non corresse troppo velocemente erodendo le pareti, né troppo lentamente finendo per sedimentare nel canale fino ad occluderlo. In pratica le pendenze minori oscillano fra lo 0.07 e lo 0.67 ‰, come nell'acquedotto di Nimes e di Antibes, mentre le maggiori fra l' 1.45 ed il 3.47 ‰, rispettivamente dell'acquedotto di Ario Novus e di Metz. Le dimensioni dello *specus*, oscillavano, invece, fra un'altezza di m 2 a 1.3, ed una larghezza fra m 1.2 e 0.5, con una sezione rettangolare a spigoli arrotondati o ellittica, con le pareti rivestite di *opus signinum* opportunamente impermeabilizzato, e con la copertura a volta sia in pietra che in mattoni. Per l'indispensabile aerazione ogni 60-80 m, per Plinio e la metà per Vitruvio, si apriva nella volta un condotto verticale, *spiramen,* alto non di rado oltre 30 m. Lungo il tracciato si dovevano scavalcare gole e valli su altissime strutture, non a caso definite tecnicamente *opere d'arte*, e poi oltrepassare colline e rilievi in gallerie, e spesso persino fiumi su ponti-canali. Difficoltà che il crescere delle distanze di captazione incrementava esponenzialmente.

In questa pagina: *Le Pont du Gard, in Francia. Acquedotto romano su tre ordini di arcate. In dettaglio lo specus, l'acquedotto vero e proprio che corre al terzo livello.*

In alto e sopra: *Elemento di condotta forzata romana e scorcio di un tratto di sifone realizzato giuntando elementi simili.*

Sebbene si affermi in numerosi trattati che i Romani non conoscessero la condotta forzata[34], in realtà non solo la conobbero ma se ne avvalsero in moltissimi casi, meglio noti come *sifoni rovesciati*. In pratica, sull'orlo di una profonda gola l'acqua veniva fatta immettere, tramite un apposito imbocco, in uno spesso tubo che prima scendeva sul fondo della stessa e poi ne risaliva lungo l'opposta pendice, con un minima perdita di carico, fin quasi perciò alla quota di partenza. Ovviamente, e forse qui sta l'origine dell'equivoco, i segmenti di tubo non erano di metallo ma di pietra: del resto anche oggi molte condotte forzate per acquedotti sono realizzate con anelli di cemento armato. Non di rado, poi, la condotta forzata era abbinata alla condotta su arcate a più ordini, quando la vallata da superare era di grande profondità. Fino ad una certa altezza suppeeriva la struttura muraria e dal suo dorso alla quota di circolazione, il sifone rovescio a condotta forzata. L'esito dell'abbinamento deve considerarsi ottimo, dal momento che si conoscono molti casi di utilizzo ininterrotto superiore al millennio, con pressioni di servizio di circa 20 kg/cm^2.

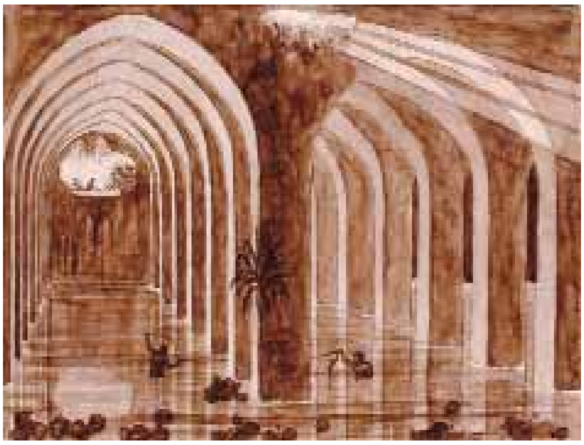
Interessante, infine, il metodo adottato dai tecnici romani per stabilire la portata di un acquedotto, diverso dall'odierno in quanto non tiene conto della velocità dell'acqua, che solo con estrema difficoltà e rilevante approssimazione, avrebbe potuto essere stimata. Dal momento che la pendenza degli acquedotti era sostanzialmente sempre la medesima, la velocità dell'acqua diveniva, di fatto, una costante per cui l'unica variabile restava la sezione del canale in cui scorreva, cioè la sua larghezza per l'altezza del flusso, valore che divenne pertanto la vera unità di misura della portata.[35] Essendo variabile la portata delle sorgenti, soprattutto nei cicli stagionali, per evitare un'analoga escursione dell'acqua immessa nella rete urbana e, magari, per incrementare la disponibilità quotidiana giocando sui diversi consumi del giorno e della notte, all'ingresso della città si ubicarono enormi conserve, o cisterne.

4.3 Le grandi cisterne

Una rilevante scorta d'acqua, infatti, accumulata nel corso della notte, quando le esigenze erano, se non nulle, minime, consentiva di raddoppiare la disponibilità nel corso della giornata. Affinché ciò accadesse, la capacità della cisterna doveva equiparare l'intera portata notturna dell'acquedotto, in modo da evitare sprechi. Inoltre, poiché nelle grandi cisterne non sono stati trovati scarichi per *troppo pieno*, è sensato supporre che non si riempissero mai del tutto, ovvero, che fossero di cubature eccedenti alla suddetta quantità. Accorte tecniche costruttive e d'impermeabilizzazione degli intonaci, garantivano a tali costruzioni un'assoluta saldezza, prossima al monolitismo, un'estrema longevità e una

34 Circa le condotte forzate di epoca romana cfr. AA.VV., *TRAIANUS, Corpus artium munitorum romanorum*, ultimo aggiornamento 24 aprile 2007, versione elettronica http://traianus.redris.es, Aquae. Di estremo interesse il sifone di Patara, ancora in ottimo stato di conservazione.

35 Cfr. S. G. FRONTINO, *De aquis urbis Romae.*



In alto: *Incisione dell'abate Angelo Uggeri tratta dal volume* Vues pittoresques des edifices de Rome antique et ses environs *e relativa alla cisterna romana di Albano Laziale.*
Sopra: *Foto attuale dei resti della cisterna.*
In basso: *La grande cisterna romana di Gerusalemme.*

perfetta tenuta. Del resto sarebbero bastate lievi fessure per comprometterne l'utilità. Un aspetto interessante è relativo alla loro periodica pulizia: allo scopo gli spigoli erano stati tutti arrotondati, e al centro si trovava una piccola conca di raccolta con un'apposita, modestissima, canalizzazione di spurgo, ovviamente munita di chiusura.

La maggioranza delle grandi cisterne di età imperiale, non di rado ancora in uso come quella di Albano[36], conservano ben evidente il foro del condotto di immissione, prossimo alla sommità, ma nessun simmetrico di prelievo che, per ovvie ragioni, avrebbe dovuto trovarsi in prossimità del fondo. Nessun foro di deflusso neppure più in alto, strana anomalia che suggerisce una diversa maniera di prelievo, molto più complessa e, senza dubbio, molto più efficace. Il primo fatto di cui occorre tener conto, riguarda la pressione di esercizio: dal momento che i tubi di piombo romani non ne sopportavano di rilevanti, bisognava evitare eccessive quanto inutili sollecitazioni a quelli di maggiore sezione. Lo scarto di pressione fra la cisterna piena e vuota in caso di prelievo dal fondo, sarebbe stato di pochissimo inferiore a 1 kg/cmq, valore pericolosamente vicino alla massima resistenza dei tubi di piombo più grandi della rete idrica, stimata di circa 0.7 kg/cmq. Essendo le cisterne per lo più interrate, il prelievo dall'alto, tramite adeguati sifoni, evitava di sottoporre i tubi a quella pressione fino al ripartitore, posto ad una quota appena inferiore. Inoltre, con una disposizione del genere sarebbe stato possibile collocare le chiavi d'arresto sulla sommità dei sifoni stessi, in pratica dei semplici sfiati, dove la pressione era praticamente nulla, risparmiando inutili sforzi alle saldature.

Tra i maggiori e migliori esempi di cisterna romana spicca quella di Miseno: la cosiddetta *Piscina Mirabilis*.[37]

36 Cfr. S. QUILICI GIGLI, *Roma fuori le mura*, Roma 1980, pp. 97- 105.
37 Cfr. F. RUSSO e F. RUSSO, *79 d.C. rotta su Pompei, indagine sulla scomparsa di un ammiraglio*, ristampa Napoli 2006, pp. 62-66.

4.3.1 La Piscina Mirabilis

Tra le poche infrastrutture che, a vario titolo, la maggior parte degli studiosi relaziona alla base di Miseno, sopravvivono un'enorme cisterna, dall'emblematico nome di *Piscina Mirabilis* cioè meravigliosa, o per meglio dire che desta meraviglia, e la base quadrata di un edificio a forte sviluppo verticale. Ubicate a poche centinaia di metri l'una dall'altro, le due costruzioni ostentano condizioni di conservazione antitetiche: la prima quasi intatta, tanto da poter essere riutilizzata in ogni momento. Il secondo, invece, è talmente compromesso e mutilo, da renderne rischiosa persino la visita e, ovviamente, incerta l'interpretazione. Uno stato di conservazione così divergente deve ascriversi alla loro diversa vulnerabilità sismica, stando l'una incassata nella collina e l'altro svettante su di essa; dal che l'ipotesi del faro.[38]

Volendo dettagliare le caratteristiche della piscina, va preliminarmente rilevato che dalla sua capacità dipendeva se non l'autonomia della base, almeno il suo benessere. Una colonia d'oltre 40.000 abitanti tra civili e militari, secondo lo standard urbanistico e igienico romano, infatti, richiedeva quantità enormi di acqua per uso alimentare, agricolo e soprattutto termale. Alle quali poi, andavano ad aggiungersi quelle necessarie alla flotta stessa e ai relativi cantieri, di non minore rilevanza. A Miseno, come più indietro a Baia dove risiedeva periodicamente l'imperatore, abbondava il fuoco ma difettava l'acqua, per cui occorreva reperire una sorgente congrua per quantità e qualità e addurne le acque. La si trovò alle fonti del Serino[39],

38 Cfr. S. DE CARO, A. GRECO, *Campania*, Bari 1981, pp. 71-72.
39 Cfr. B. MICCIO, U. POTENZA, *Gli acquedotti…*, cit., pp. 21-52.

Sopra: *Scorci interni della Piscina Mirabilis.*
Sotto: *Panoramica dell'area della base navale romana di Miseno.*

Pompei: scorcio del tripartitore idrico.

in pieno Sannio, a quasi 100 km di distanza, ottima per qualità e abbondante per quantità ma non certo illimitata. Ne conseguì un interminabile acquedotto, che strada facendo alimentò pure la città di Pompei, le ville di Ercolano e poi le varie lussuose residenze di Baia: necessaria, perciò, più che mai una colossale cisterna. Stimando il fabbisogno individuale giornaliero pari ad un centinaio di litri *pro capite*, il doppio del minimo previsto dall'ONU, ed altrettanto per terme e giardini si avrebbero 8000 mc; sommandovi un'uguale aliquota per la flotta il volume dell'acqua ascenderebbe a 12.000 mc. La *Piscina Mirabilis*, scandita da 48 pilastri cruciformi, quattro file lunghe 70 m, larghe 25 e profonde 15 in cinque navate, ne garantiva appunto 12.000![40]

Per eventuali ispezioni e per la periodica pulizia, si accedeva al suo fondo tramite due rampe di scale, una ancora praticabile. L'evacuazione dell'acqua di lavaggio avveniva dal pozzetto centrale, profondo circa un metro e munito di tubo di scarico. La concezione è quella tipica del pozzetto di sentina che, del resto, è suggerita pure dall'assenza del foro di prelievo. Mentre quello d'immissione dell'acqua, infatti, si scorge sulla sommità della parete prossima all'ingresso occidentale, come accennato, manca quello di emissione, sostituito da adeguati sifoni di prelievo. Probabile che questi fossero innescati con delle piccole pompe a doppio effetto, o forse più semplicemente per immissione di acqua dalla loro sommità, come appare in diversi disegni rinascimentali. Ne derivavano, oltre ai vantaggi ricordati, una migliore decantazione dell'acqua e un'assoluta indipendenza fra le diverse diramazioni.

4.4 Il tripartitore idrico di Pompei

Come ricordato in precedenza, l'acqua appena uscita dalla cisterna, prima di essere immessa nella rete urbana, subiva una suddivisione in funzione delle utenze principali. Essendo per i Romani la portata proporzionale alla sezione del canale, l'organo per la ripartizione, definito genericamente *castellum aquae*, era una costruzione divisa in diverse sezioni, geometricamente uguali. La tipologia più frequente

40 Cfr. D. RUOCCO, *Campania*, Torino 1976, pp. 153-154.

era di tre sezioni, da cui il nome di *tripartitore idrico*, ed a Pompei durante gli scavi del 1902 ne è affiorato un esemplare in ottimo stato di conservazione.[41]

Ad esso faceva capo una diramazione dell'acquedotto del Serino, costruito in età augustea, come del resto il tripartitore. L'edificio, collocato a ridosso di Porta Vesuvio, è a pianta quadrilatera, coperto da una cupola di m 5.80 di diametro. In esso il flusso, dopo aver attraversato un filtro a crivello che bloccava eventuali impurità, veniva fatto espandere in un'apposita ampia e poco profonda vasca circolare, dove era diviso in tre correnti uguali, mediante appositi risalti in muratura. Ciascuna parte, poi, entrava in rete tramite una propria condotta: la prima era destinata alle fontane pubbliche, la seconda alle terme, la terza all'utenza privata stando a Vitruvio[42] che così tramanda al riguardo:

1 -...Questa costruzione [l'acquedotto] *sarà coperta da una volta, affinché l'acqua non sia esposta all'azione del sole. Quando sarà giunto presso le mura della città, si costruirà un serbatoio con tre bacini. In questi saranno collocate tre tubature ugualmente divise da settori contigui, di modo che quando vi sia un flusso d'acqua abbondante nei due estremi, possa ricadere nel centrale.*

2 - Così da questa riserva centrale si originano le tubature che portano l'acqua a tutti i lavatoi e le fontane; il secondo bacino fornirà l'acqua alle terme, che ogni anno assicurano un reddito alla popolazione; il terzo rifornirà le case private. Questa la ragione di tale distribuzione: l'acqua non mancherà mai nel bacino dei bagni pubblici, perché il condotto che la preleva dalla riserva non può essere deviato; e i cittadini che vorranno avere l'acqua a domicilio pagheranno un importo che servirà al mantenimento degli acquedotti.[A23]

Circa l'utenza privata, occorre aggiungere che, al di là della facile assonanza, non godeva di un criterio di allaccio simile all'attuale: la concessione risultava tale realmente, essendone il rilascio subordinato a precisi meriti, ed a precisi quantitativi verificati con tubi campioni di bronzo, restando comunque personale e sempre temporanea. In qualsiasi momento, infatti, poteva essere revocata o interrotta per ragioni insindacabili. Così scriveva al riguardo Frontino.[43]

Pompei, tripartitore idrico. Dall'alto: dettaglio dei settori di divisione; tracce delle saracinesche; uscita delle condotte sull'esterno.

"Chi vorrà prendere acqua per usi privati, deve richiederla e portare al sovrintendente una lettera per il principe; il sovrintendente, per volontà di Cesare, deve garantirne il compimento e subito incaricare per iscritto un liberto di Cesare, procuratore a tale incarico. Ora sembra che Tiberio Claudio per primo abbia posto un procuratore, dopo che condusse [gli acquedotti] Aniene Nuovo e Claudio. Il contenuto della lettera, deve essere reso notificato anche agli esecutori,

41 L'impianto del tripartitore idrico è descritto oltre che da Frontino anche da Vitruvio, VIII, 7. La presenza di saracinesche, testimoniate dalle relative guide di scorrimento, fa però ipotizzare, per quello di Pompei, più che una suddivisione per tipologie di utenze una funzione di smistamento e di regolazione dei flussi nelle varie zone della città.

42 VITRUVIO, *De architectura*, lib. VIII, 7,1-2.

A23 Testo originale Allegato 23, in Allegati.

43 S. G. FRONTINO, *De aquis urbis Romae*, lib. II, 105.

perché poi non giustifichino la propria negligenza, o malafede, con la scusa dell'ignoranza. Il procuratore controllerà, mediante i tubi campione, che sia saldato il tubo della misura conforme ai permessi ottenuti, e che non venga allacciato un tubo di maggiore o minore dimensione, a seconda dell'influenza delle parti. Per la stessa ragione non sia permesso di collocare subito qualsiasi tubo di piombo a discrezione, ma soltanto quello della dimensione per cui è segnata la condotta per una lunghezza di cinquanta piedi, com'è stabilito da una deliberazione del senato in merito a ciò che viene impiantato sotto il suolo."[A24]

Questo almeno in teoria, stando a Frontino. Dal momento però che proprio nel tripartitore di Pompei si ravvisa l'adozione di saracinesche con le quali ogni singola sezione poteva essere chiusa in caso di necessità, vuoi per riduzione della portata a monte, vuoi per lavori a valle, sembrerebbe logico ritenere che, da un certo momento in poi, il *castellum aquae* primario avesse una funzione di ripartizione piuttosto che alle diverse tipologie di utenze, ai diversi quartieri della rete urbana.

Le tre grosse condotte che uscivano dal tripartitore, infatti, imboccavano, per correre sotto il basolato, via di Stabia, via della Fortuna, via dell'Abbondanza, andandosi a collegare ai vari *castellum aquae* secondari, dove si effettuavano gli allacci privati. Questi, già da molto tempo, avvenivano in maniera discrezionale, illegale e del tutto abusiva, direttamente al serbatoio della più vicina torretta piezometrica, *castellum aquae* secondario, per cui dopo un po' nessuno fu più capace di distinguerne la natura e, meno che mai, di ristabilire la legalità in materia. A questo punto, si è ricordata l'esistenza d'una serie, di varia entità numerica secondo l'escursione altimetrica della città, di *castella aquae* secondari, che con la terminologia odierna ed in base alla funzione assolta, andrebbero definiti torrette piezometriche.

In alto: *Torretta appena scavata completa del suo serbatoio di piombo sommitale.*
Sopra: *La medesima torretta dopo il bombardamento dell'ultima guerra: il serbatoio è scomparso.*

4.5 Le torrette piezometriche

Le caratteristiche di tali strutture accessorie della rete di distribuzione idrica che, sia detto per inciso, fu la prima delle tante che attualmente si dipanano nelle città, sono relativamente semplici. Ne abbiamo per fortuna un preciso riscontro in quella conservatasi a Pompei, purtroppo non priva di vistose lacune: le sue condizioni complessive sono, infatti, discrete per la parte muraria ma fortemente deficitarie per quella metallica, e delle tubature e dei serbatoi, perdite causate piuttosto dalle asportazioni abusive posteriori che dalla catastrofe del 79, tant'é che dei secondi abbiamo persino la fotografia. Il piombo di cui erano fatti ne incentivò forse il furto, avvenuto dopo i gravi danni subiti nel corso di un ottuso bombardamento alleato nella seconda guerra mondiale.[44]

A24 Testo originale Allegato 24, in Allegati.

44 Cfr. L. GARCIA y GARCIA, *Danni di guerra a Pompei. Una dolorosa vicenda quasi dimenticata*, Roma 2006, pp. 44-45. Il cassone di piombo sulla torretta, ben visibile ed in ottime condizioni prima della guerra, non compare più dopo.

La condotta di piombo che alimentava le fontane private e pubbliche, avendo la città un dislivello di circa 50 m, avrebbe dovuto sopportare in caso di chiusura della chiave d'arresto, posta più in basso, una pressione massima di 5 kg/cm², assolutamente eccedente la già ricordata resistenza dei tubi, senza contare la forte sperequazione nella distribuzione dell'acqua, scarsa nelle adiacenze del tripartitore e abbondante lontano. La frustrante limitazione, peraltro insormontabile per la tecnologia coeva, rese necessari dei limitatori di pressione, cioè delle valide torrette piezometriche, alte mediamente m 6. Sulla loro sommità, come ricordato, stava un cassone di piombo, aperto superiormente ma protetto da un adeguato coperchio, del volume di circa un metro cubo. Vi sfogava la condotta d'alimentazione, proveniente dal tripartitore o dalla precedente, e si originava quella destinata alla torretta successiva. Lungo i fianchi delle stesse si scorgono dei cavedi,

In alto: *Pompei, scorcio di una torretta piezometrica con annessa fontana pubblica e ricostruzione virtuale sezionata della stessa.*
A fianco: *Tracce delle tubature in piombo degli allacci abusivi e, sotto, le incrostazioni calcaree lungo il cavedo della torretta.*

destinati a ricevere i tubi di carico e di scarico, nonché degli allacci legali.

L'ingegnoso dispositivo garantiva così che la pressione di esercizio non potesse eccedere quella provocata dalla altezza di una singola torretta, pari a circa 0.6 kg/cmq. In epoca posteriore, allorquando la rigida normativa degli allacci era un ricordo, le tubature private furono collegate direttamente ai cassoni delle torrette, come dimostrano le loro tracce ancora ben visibili. Va infine osservato che ai piedi delle torrette, o più raramente nelle immediate adiacenze, stavano sempre impiantate le fontane pubbliche, con ampie vasche fungenti da abbeveratoi. La loro alimentazione era garantita da un tubo innestato sul fondo del cassone, nonché dall'acqua che fuoriusciva dallo stesso una volta pieno, come è desumibile dalle evidenti tracce di sedimentazione calcarea lungo gli stessi cavedi. Grazie all'accorta disposizione la pressione di esercizio era dovunque la medesima e nessuna abitazione risultava più distante di 50 m da una fontana.

4.6 Le tubature di piombo

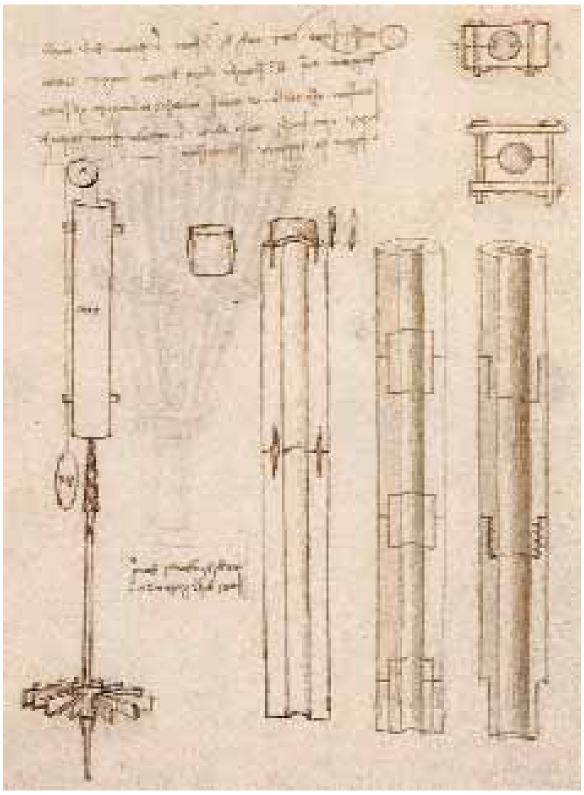
Circa le tubature di piombo bisogna subito osservare che se ne costruivano in rilevanti quantità e di varie dimensioni, in un gran numero di fabbriche distribuite in ogni parte dell'Impero. Persino le legioni ne fabbricavano correntemente, come attestano i loro marchi rinvenuti su reperti del genere. Dal punto di vista pratico, la loro realizzazione si avviava da una striscia di lamiera di piombo, lunga sempre dieci piedi, circa 3 m, e di spessore costante per ciascun diametro. Mediante un tondino di ferro, la striscia era curvata fino a far combaciare i suoi lati lunghi, ripiegandone i bordi e a volte anche ribattendoli, predisponendoli ad una saldatura eseguita per l'intera lunghezza.[45] La saldatura si può presumere di tipo autogeno, ottenuta cioè versando del piombo fuso sui bordi già accostati, in modo da farli fondere insieme. Probabile, inoltre, che il medesimo effetto fosse ottenuto passandovi sopra una spranga di rame incandescente, fuoriuscente da un braciere pieno di carbone ardente. Qualcosa di simile, del resto, si usava ancora nell'ottocento per stirare i panni, quando dei capaci ferri venivano colmati con un discreto quantitativo di brace. Probabile, ancora, che si adoperasse soprattutto per le saldature fra i vari segmenti di 3 m di tubo uno strumento simile a un cannello ferruminatoio, a sua volta simile ad un rudimentale bruciatore da idraulico.

Segmenti di tubi in piombo, di epoca romana, ancora in sede.

Sono stati rinvenuti anche dei segmenti di tubature di piombo, senza alcuna saldatura, antesignani pezzi trafilati di cui però non si trova riscontro nelle fonti.

Quale che fosse il sistema adottato, la saldatura longitudinale in genere garantiva abbastanza bene e a lungo la tenuta del tubo, un po' meno quelle trasversali ad ogni 3 m, ma non consentiva di superare pressioni estremamente modeste, come già ricordato, sempre inferiori ad 1 kg/cm², pari ad una colonna d'acqua di dieci metri d'altezza. Non a caso le torrette piezometriche non eccedevano i 6 m: una pressione però tanto esigua provocava una bassa velocità di

45 Cfr. E. e F. FASSITELLI, *Roma in Europa. Tubi e valvole dell'antica Roma*, Milano, edito da Petrolieri D'Italia, mensile fondato nel 1954.



scorrimento all'interno dei tubi, favorendovi una rapida e abbondante sedimentazione di calcare. La portata delle tubature di minor diametro, perciò, si riduceva rapidamente, obbligando alla loro frequente sostituzione; ma l'inconveniente aveva anche i suoi pregi: il tubo rivestito dal calcare perdeva molta della sua tossicità, peraltro ai Romani ben nota.[46] In ogni caso la quantità d'acqua che raggiungeva le abitazioni allacciate restava comunque scarsa, potendosi stimare in almeno un minuto, il tempo medio necessario per il deflusso di un litro. Si deve pertanto immaginare che, non esistendo alcun tipo di contatore, l'utenza fosse sempre aperta e dotata di una vasca-acquaio di raccolta. La chiave d'arresto, pertanto, pur avendone le potenzialità non fungeva da rubinetto, come nelle nostre abitazioni, ma veniva impiegata per interrompere il flusso soltanto per ragioni connesse alla manutenzione degli impianti.

Esistevano ancora, ed erano ritenute di gran lunga le migliori dal punto di vista sanitario, le tubature ricavate da travi di quercia, trapanate longitudinalmente e munite di raccordi in lamiera di bronzo per consentirne l'allaccio in serie. Tubature siffatte sono ancora comuni agli inizi del Rinascimento e, persino, fra i disegni di Leonardo se ne trova un'esplicita

46 Scriveva, infatti, Vitruvio, VIII, 7:*"l'acqua condotta nei tubi di terracotta è più sana di quella condotta nei tubi di piombo; la ragione sembra che sia da attribuirsi alla tossicità della biacca, prodotta dal piombo, la quale si ritiene molto nociva per il corpo umano… Di ciò se ne può avere una conferma dagli operai e dagli artigiani che lavorano il piombo i quali hanno sempre un colorito malato, poiché quando si fonde il piombo penetra negli organi il suo vapore, che giorno dopo giorno accumulandosi, asporta dalle loro membra i benefici del sangue: e per questo non è bene condurre l'acqua nei tubi di piombo, volendola avere salubre."*

In alto: *Cassetta di diramazione per tubi di piombo.*
A fianco, in alto: *Reperto archeologico di tubatura in legno.*
A fianco: *Tubature in legno disegnate da Leonardo da Vinci, ms. Madrid I fol. 25v.*

Tubature di terracotta di discreto diametro, con giunti maschio-femmina, ancora in sito.

testimonianza sul loro vasto impiego e sulle macchine necessarie a produrle. Infine, abbastanza spesso soprattutto per le condotte di scarico, si utilizzavano tubature di terracotta, ottenute con una lunga teoria di singoli elementi incastrati fra loro. Di basso costo, e senza dubbio igieniche, presentavano però due gravi deficienze: la scarsa durata e la porosità.

4.6.1 Diametri e definizioni dei tubi di piombo

Il già più volte citato Sesto Giulio Frontino, senatore che nel 97 sotto l'imperatore Nerva fu curatore della rete idrica di Roma, cioè il responsabile dell'approvvigionamento della città, nella sua opera *De aquis urbis Romae,* ci tramanda le grandezze standardizzate dei tubi in piombo. Non si tratta, tuttavia, del loro diametro geometrico, non avendo quei tubi una sezione circolare ma a pera, per il ricordato processo di produzione: pertanto le misure fornite da Frontino si riferiscono, invece, alla larghezza che doveva avere il foglio di piombo per realizzarne di una determinata dimensione, alla quale corrisponde, secondo il nostro criterio, un preciso diametro massimo. Quanto alla distinzione romana riportata da Frontino va ricordato che il pollice era la sedicesima parte del piede, mentre l'oncia la dodicesima; il pollice quadrato, a sua volta, era la superficie racchiusa in un quadrato di un pollice di lato, mentre il pollice rotondo era quella racchiusa in un cerchio del diametro di un pollice. Pertanto il pollice quadrato era di 4/3.14 del rotondo, differenza che diveniva trascurabile per le dimensioni più piccole. Circa la quinaria, poi, che per quanti vogliono ascriverla ad Agrippa deve ritenersi generata dall'unione di cinque piccoli tubi è, invece, secondo Vitruvio, una tubatura derivata da una lamina di piombo in origine larga cinque pollici. Dalle fonti imperiali, però, si deduce che fosse un tubo di 5/4 di pollice, dal quale per incrementi di ¼ di pollice si ricavava l'intera gamma dei tubi di piombo. Per i tubi più grandi della tabella, bisogna aggiungere che, in realtà, non abbiamo alcun riscontro archeologico, non essendosene mai trovato neppure un modesto frammento. Non per questo, però, se ne può escludere la produzione, magari non seriale o la sporadica utilizzazione, ma solo che conobbero una più radicale distruzione, essendo maggiormente remunerativa la loro rottamazione. Questa comunque la tabella di Frontino[47] e il suo dimensionamento in dita e, relativamente al diametro massimo, in mm:

26 - Ogni misura [del tubo] *è fatta in base o al diametro o alla circonferenza o alla misura dell'area, fattori dai quali ne deriva anche la capacità.*

47 S. G. FRONTINO, *De aquis...,* I, 26-63. Va ricordato che il pollice era la sedicesima parte del piede mentre l'oncia la dodicesima; il pollice quadrato era la superficie racchiusa in un quadrato di un pollice di lato, mentre il pollice rotondo era quella racchiusa in un cerchio del diametro di un pollice. Pertanto il pollice quadrato era 3/14 volte maggiore di quello rotondo, differenza che diveniva trascurabile per le dimensioni minori. Quanto alla quinaria, che per quanti vogliono ascriverla ad Agrippa si va ritenuta generata dall'unione di cinque piccoli tubi, è invece ritenuta da Vitruvio, una tubatura derivata da una lamina di piombo in origine larga cinque pollici. Dalle fonti imperiali, però, si constata che fosse un tubo di 5/4 di pollice e che fungesse da base per l'intero sistema dimensionale, ottenuto con incrementi di ¼ pollice.

Per distinguere più facilmente la differenza tra un pollice (1/12 di piede), un dito quadrato (1/16) e un dito rotondo, o della stessa quinaria (diametro cinque quadrato), ci si deve servire del valore della quinaria, misura che è la più precisa e la più riconosciuta. Dunque la misura del pollice ha di diametro un dito e un terzo di dito; contiene più di una quinaria, dell'ottava della quinaria, vale a dire di un dodicesimo e mezzo di quinaria e tre scrupoli (tre ventiquattresime parti di un'oncia/un pollice; scrupolo: 1/288 di un asse) e due terzi di scrupolo. Un dito quadrato convertito in rotondo ha il diametro di un dito e un dodicesimo e la sesta parte di un dodicesimo di dito; equivale a i dieci dodicesimi di una quinaria. Il dito rotondo ha il diametro di un solo dito; contiene/comprende/equivale a sette dodicesimi un ventiquattresimo un settantaduesimo di una quinaria...[A25]

fistula	*tubo da*	*Ø pollici*
quinaria	5 dita	1,25 = 23 mm
senaria	6 dita	1,50 = 28 mm
settenaria	7 dita	1,75 = 32 mm
ottonaria	8 dita	2,00 = 37 mm
denaria	10 dita	2,50 = 46 mm
duodenaria	12 dita	3,00 = 55 mm
	15 dita	3,75 = 69 mm
vicenaria	20 dita	5,00 = 92 mm
	25 dita	5,50 = 115 mm

4.6.2 Stampa a caratteri mobili

I Romani erano soliti apporre su tutti i singoli prodotti industriali, dalla tegola al mattone, dal lingotto al vaso di terracotta, il marchio di fabbrica, cioè la denominazione del singolo imprenditore o dell'istituzione anche pubblica, ad esempio una legione, che lo aveva realizzato. La prassi fu, ovviamente, applicata anche ai tubi di piombo, che hanno perciò tramandato i loro costruttori, civili o militari, e spesso anche le loro precipue peculiarità salienti. Forse fu proprio per rendere più facile quest'ultima indicazione che fu escogitato un particolarissimo tipo di composizione grafica mobile al negativo.

Da tempo, per la verità, i Romani conoscevano ed usavano correntemente i sigilli ed i timbri per im-

Dall'alto: *Sigilli rotanti babilonesi; sigilli e marchi romani rinvenuti ad Ercolano; marchio su tubo con indicazione della legione.*

primere, su carta o su argilla, una precisa iscrizione o un preciso *logo*, ma si trattava sempre di composizioni grafiche fisse e non modificabili, in sostanza non diverse dai marchi usati sul bestiame. Prassi del genere risalgono alla civiltà babilonese, e molti sigilli sia piani che cilindrici a rotazione stanno a confermarlo: nessun dubbio quindi sulla loro arcaicità e notorietà.

A25 Testo originale Allegato 25, in Allegati.

Scritta effettuata con caratteri mobili su due file.

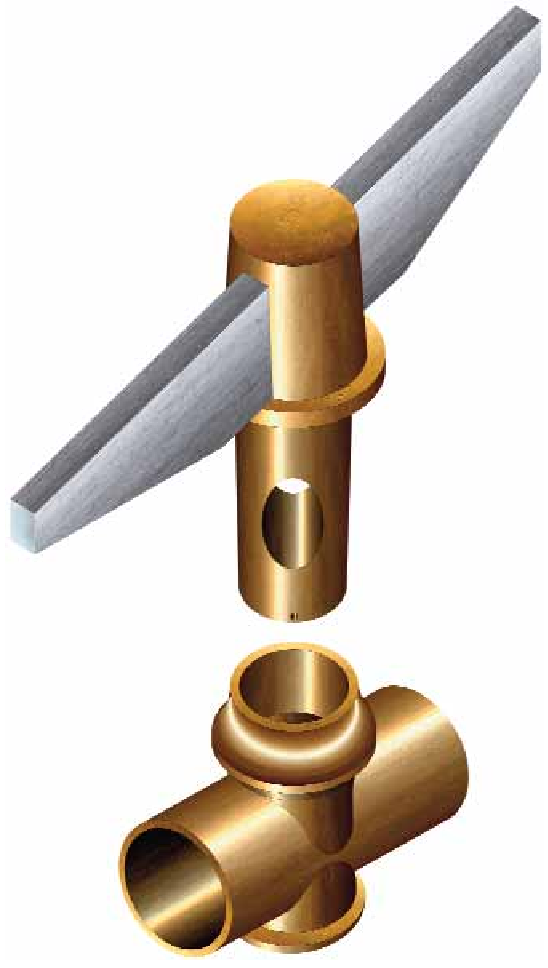
Nel caso dei tubi, invece, sui quali oltre al nome del costruttore poteva essere riportata una particolare specifica tecnica, alcuni reperti dimostrano che la matrice della scritta per il piombo fuso, proveniva da una serie di caratteri alfabetici precostituiti e fra loro mobili. In altri termini, prima di colare il piombo fuso per ottenere la striscia di lamiera su di una lastra di marmo, si deve immaginare che in un suo apposito tassello fossero poste tutte le matrici dei caratteri alfabetici e dei relativi spazi, verosimilmente di bronzo, necessari per comporre alla rovescia la dicitura. Spesso si trattava di caratteri scavati, in modo da riprodurre a sbalzo la dicitura: comunque erano caratteri uguali per lettere alfabetiche uguali, mobili ed utilizzati per una stampa, che potrebbe a giusta ragione definirsi *stampa a caratteri mobili*!

Sopra: *Due reperti archeologici provenienti da Pompei ed Ercolano; si tratta di chiavi d'arresto.*
Sotto: *Ricostruzione virtuale sezionata di chiave d'arresto romana.*

4.7 Chiavi d'arresto

Come in precedenza accennato, l'impiantistica idraulica romana utilizzava, in ogni parte dell'Impero, delle chiavi d'arresto di bronzo prodotte in serie e secondo misure standardizzate. La loro struttura si conferma estremamente semplice e, al contempo, di tale razionalità da renderne superflua la manutenzione per numerosi secoli! Constavano di due sole parti, una mobile definita *maschio* ed una fissa definita *femmina*, che ricordano, per ampia approssimazione, le *spine* delle botti. Volendo meglio descriverle, il maschio o rotore, era realizzato pieno e di forma tronco-conica, con un grosso foro centrale passante; una volta montato lasciava fuoriuscire la sua estremità superiore dalla femmina, con testa parallelepipeda: si girava con una apposita leva se cava, con una chiave se piena.[48] Ottenuto per fusione di bronzo, poi regolarizzata al tornio e lucidato a specchio, non richiedeva alcuna guarnizione, bastando soltanto forzarne l'inserimento per ottenere una perfetta tenuta. La femmina o statore, a sua volta, constava di un corpo all'incirca cilindrico, cavo, munito d'ingresso e d'uscita per i due allacci, con l'acquedotto e con l'utenza. Ottenuta anch'essa per fusione di bronzo, aveva la cavità centrale alesata con estrema precisione in forma tronco conica, di diametro congruo al rotore. Questo, inseritovi fino alla giusta collocazione, era stabilmente bloccato mediante una piccola punzonatura, per cui poteva ruotare liberamente in entrambi i versi ma non fuoriuscire. Va inoltre osservato che, grazie al loro particolare disegno, quelle chiavi si potevano allacciare

48 Cfr. E. e F. FASSITELLI, *Roma in Europa. Tubi e valvole...*, cit., pp. 6-16.



Sopra: *Ricostruzione virtuale esplosa di un altro modello di chiave d'arresto romana.*
A fianco: *Miscelatore monocomando romano rinvenuto in Germania e vasca da bagno rinvenuta ad Ercolano.*

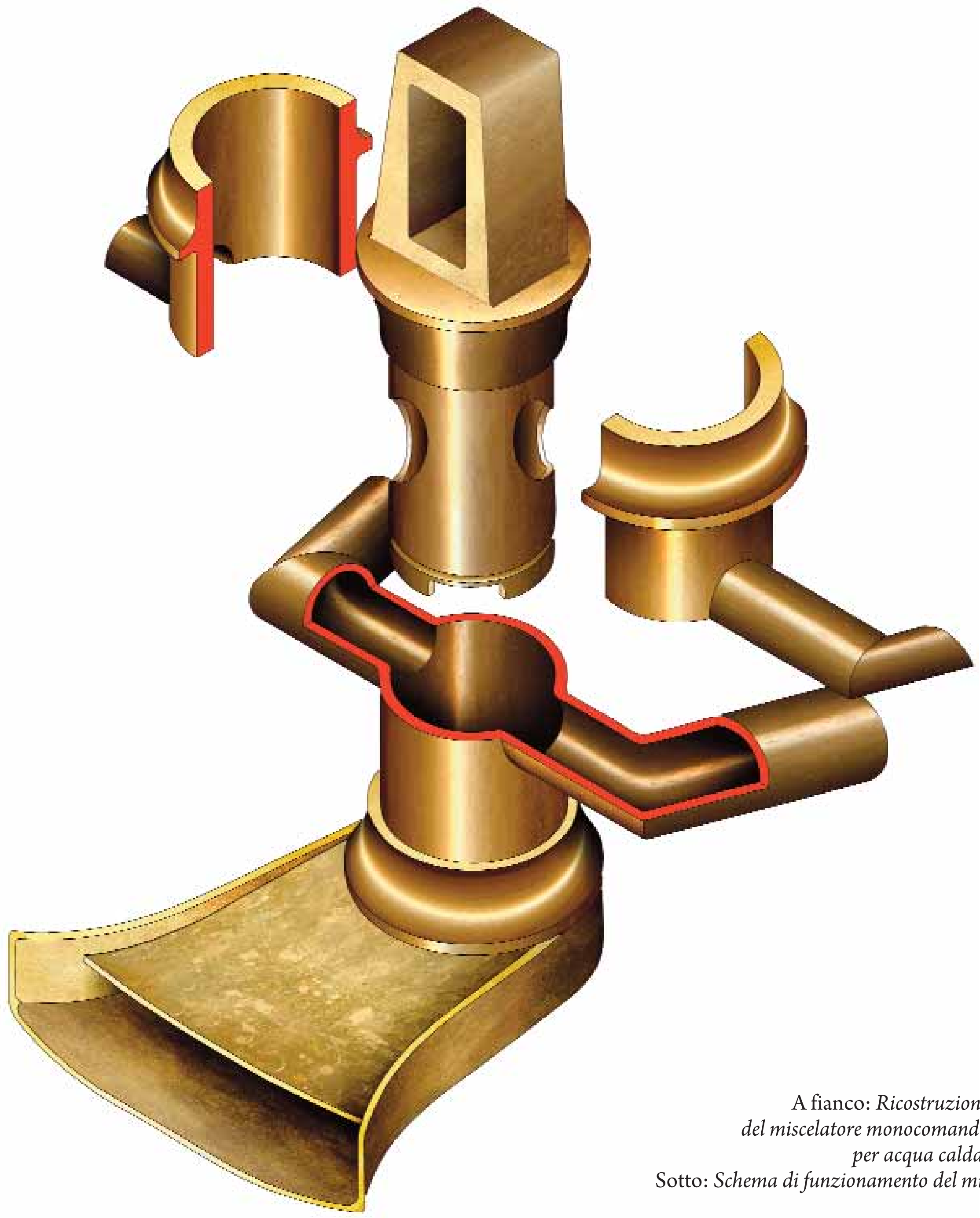
a due tubi disposti fra loro sia a 180° che a 90°, salvo poi chiudere il foro inutilizzato dello statore con un apposito tappo di bronzo.

La verifica dell'ottima qualità e dell'eccezionale longevità di servizio di queste chiavi d'arresto, prodotte come i tubi in otto dimensioni standardizzate, è confermata dalla constatazione che, quasi tutti, gli esemplari rinvenuti dopo una sommaria pulizia si sono dimostrati in grado di funzionare ancora perfettamente!

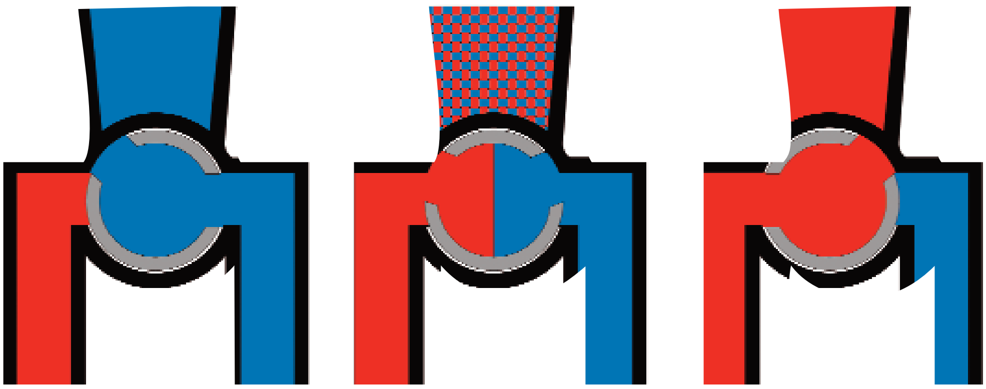
4.7.1 Miscelatori monocomando e vasche da bagno

Nelle maggiori ville romane, ovviamente le più sontuose e lussuose, esistevano delle terme private con la relativa impiantistica: non di rado la loro acqua calda veniva utilizzata pure per i servizi igienici minori, forse per delle vasche da bagno del tipo di quelle ritrovate ad Ercolano, in bronzo da incasso, o a Pompei sempre in bronzo ma a vista, prima di essere scaricata. Nei ruderi di alcune dimore patrizie, infatti, si sono trovate delle singolari chiavi d'arresto modificate, di sofisticata concezione e di raffinatissimo aspetto. Pur avendo gli stessi elementi di quella usuale, innanzi descritta, variava la sua funzione: alle opposte estremità di allaccio dello statore facevano capo due tubi[49], rispettivamente uno per l'acqua corrente, ovviamente fredda, ed uno proveniente dalla caldaia delle terme, ovviamente calda. Il foro in basso, che dopo l'inserimento del maschio era chiuso da un apposito tappo di bronzo per evitare qualsiasi stillicidio, era invece lasciato aperto e sagomato come una larga bocca spalancata. Il maschio, a sua volta, pur mantenendo la configurazione tronco conica del tipo usuale, era cavo, per cui il foro di passaggio dell'acqua comunicava col foro assiale, in maniera tale che mentre il primo serviva per l'entrata dell'acqua, il secondo per l'uscita. Posizionato nella femmina nella solita maniera consentiva, girando in un verso o nell'altro, di variare le quantità relative di acqua fredda e calda intercettate e, perciò, le rispettive proporzioni nel flusso di uscita dalla bocca inferiore, non diversamente da quanto avviene nei moderni miscelatori monocomando, consentendo perciò una erogazione di acqua alla temperatura prescelta.

49 Cfr. E. e F. FASSITELLI, *Roma in…*, cit., p. 15.



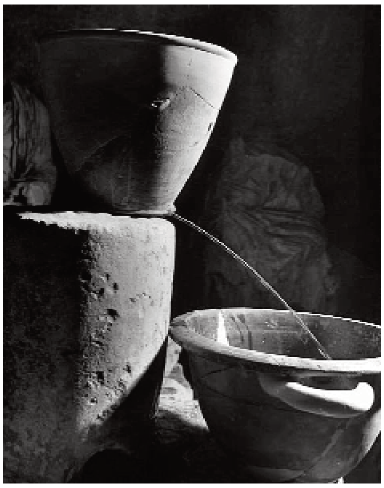
A fianco: *Ricostruzione virtuale del miscelatore monocomando romano per acqua calda e fredda.*
Sotto: *Schema di funzionamento del miscelatore.*



5. Lo stillicidio del tempo

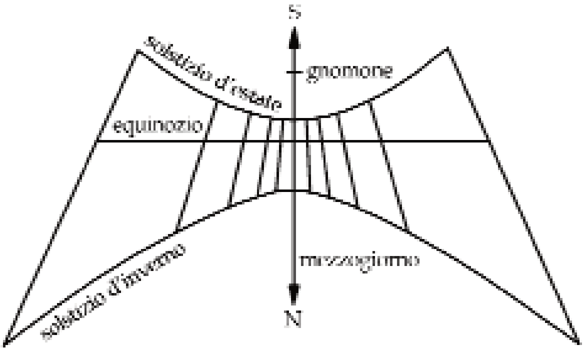
È frase fatta lo *scorrere del tempo* o il suo *defluire*, verbi che riportano comunque ad un paragone fluviale, idrico: ed appunto idrici furono i primi misuratori parziali del tempo costruiti dagli Egiziani. Avevano la forma di una tazza tronco-conica, più stretta in basso per compensare la minore velocità di deflusso dell'acqua da un apposito piccolo foro, dovuta al progressivo abbassarsi del livello dell'acqua, con la sua minore quantità. Per la storia della tecnologia furono quelle le clessidre a svuotamento, più semplici delle similari a riempimento, nelle quali il tempo trascorso da un preciso istante era valutato in base al diminuire o al crescere del livello dell'acqua in un recipiente graduato. Funzionavano in pratica con lo stillicidio dell'acqua: chiara del resto l'etimologia da *klèpto*, sottraggo e *ýdor* acqua, cioè *sottraggo acqua*. Il poeta comico Eubulo, che visse nell'Atene del IV sec. a.C., tramanda la coeva prostituta Metica col soprannome di *Clessidra*: stando ad Ateneo che la citò nella *Deipnosophistai*, quasi mezzo millennio dopo, quel nomignolo le derivò dalla: "*abitudine di cronometrare le sue effusioni con una clessidra, smettendo di baciare nell'istante stesso in cui l'apparecchio si fosse svuotato*!"[50]

Al di là delle salaci battute, quella notizia costituisce una preziosa testimonianza sull'esistenza e sulla diffusione di strumenti analogici per la misurazione del tempo, anche all'interno delle abitazioni e senza l'ausilio del sole.[51] Analizzando la citazione di Ateneo, l'accenno all'esaurimento dell'apparecchio ci consente di stabilire che si trattava appunto di una clessidra a svuotamento, capace di valutare con precisione il tempo intercorrente fra due eventi, nella fattispecie l'inizio e la fine della prestazione, simile perciò ai moderni cronometri sportivi, e non a una meridiana, o a un orologio solare, in grado di misurare il trascorre dell'intera giornata. Dettaglio ovvio, dal momento che a Metica non interessava affatto sapere quale ora fosse, ma da quante ore fosse con il suo cliente! Per cui si potrebbe concludere che a differenza della meridiana che assolveva una funzione



50 Di Eubulo, commediografo greco del IV secolo a.C., restano una cinquantina di titoli e qualche frammento: uno dei primi è *La Clessidra*, farsa dedicata alla prostituta Metica.
51 In merito cfr. F. RUSSO, *Il tempo è una goccia d'acqua*, in *Archeo*, n°4, anno 2009.

A fianco, dall'alto: *Reperto archeologico di clessidra egiziana; ricostruzione del funzionamento della stessa; un affresco da un lupanare di Pompei.*



Dall'alto: *Meridiana sferica; concava, piana e diagramma per la lettura.*

sociale, la clessidra non esulava da una privata! Paradossalmente se la meridiana precorse la clessidra, quando se ne volle creare una variante svincolata dal sole, un orologio propriamente detto, la si ottenne adattando ad una clessidra la scansione temporale delle meridiane!

Quel particolare orologio, del resto, non poteva funzionare dentro casa: anche nei modelli più evoluti, una calotta concava con al centro un indice orizzontale, *gnomone*, occorreva un'ampia esposizione al sole. Opportunamente orientata, dall'alba al tramonto, proiettava una sottile ombra sulla superficie della calotta, la cui estremità descriveva, giorno dopo giorno, una serie di curve concentriche, di cui le due esterne erano relative ai solstizi e quella centrale agli equinozi. Divisa ciascuna in dodici parti uguali, e collegati fra loro i relativi punti corrispondenti, ne scaturirono dei segmenti radiali convergenti verso il centro: a ognuno fu dato il nome di *orai*, da cui *orai lògion* all'intero strumento, letteralmente *conta-ore*. Denominazione che i Romani non oseranno mutare, limitandosi a storpiare in *horologium.* Quel criterio di suddivisione della giornata in ore fu, pertanto, un'invenzione greca del V secolo a.C., scaturita dalla necessità di frazionare il tracciato, descritto dall'ombra di un'asticciola su di un apposito quadrante, in una dozzina di parti uguali. Poiché ogni *horologium* solare, elaborato in base alla sua precisa latitudine ed al suo corretto orientamento, non ammetteva repliche, dall'età ellenistica ogni città greca ne fece costruire almeno uno.

5.1 La clessidra a Roma

A Roma agli inizi del III sec. a.C. si iniziò a percepire il bisogno di una minore approssimazione sull'orario, di giorno come di notte. Fino ad allora, infatti, un banditore annunciava il mezzogiorno, quando il sole risultava visibile, prassi insufficiente di notte e, soprattutto, in ambito militare. Si stabilì, come primo rimedio, di suddividere il giorno in quattro parti: mattina e antimeriggio, fra l'alba ed il mezzogiorno, e pomeriggio e sera, fra il mezzogiorno ed il tramonto. Il che non ridusse di molto l'incertezza diurna e per nulla quella notturna nei grandi *castra*: assurdo, ad esempio, avvicendare le quattro *vigiliae* con l'impiego di una normale clessidra per quattro volte: in estate la guardia sarebbe terminata in pieno mattino, in inverno nella profonda notte!

Fu soltanto nel 263 a.C. che anche Roma adottò l'orologio solare e le relative 12 ore, grazie al console M. Valerio Messala che fece montare nella città quello saccheggiato a Catania. Ovviamente lì

nessuno sapeva che le indicazioni valide alle falde dell'Etna, risultavano alquanto sballate sulle rive del Tevere: nonostante ciò si continuò ad usarlo, tranquillamente, per quasi un secolo! Bisogna attendere il 159 a.C. perché, finalmente, a Roma vi fosse un vero orologio, nella fattispecie uno sperimentato orologio ad acqua, costruito appositamente per lei e di notevole precisione, forse persino più evoluto di quelli che ormai gli alessandrini impiegavano correntemente. Ed, oltre un secolo dopo, per l'esattezza nel 46 a.C. i Romani ebbero pure l'anno di dodici mesi esatti, di durata pari ai corrispettivi attuali, e la settimana di sette giorni, ognuno dedicato ad un pianeta, dei sette più evidenti. Definizione e titolazioni rimaste immutate tranne quella del Sole, divenuta con l'affermazione del cristianesimo il giorno del Signore, il *dies dominici*, la domenica. Ciascun giorno da un'alba alla successiva, fu definitivamente ripartito in 24 ore, a partire dalla mezzanotte, con dodici ore di giorno e dodici di notte, come ancora facciamo oggi. Le analogie però finiscono qui.

Diversamente da noi, però, ritenevano che il giorno, fosse l'intervallo fra l'alba ed il tramonto e, per ovvia simmetria, la notte quello fra il tramonto e l'alba, eventi variabili nel corso dell'anno. Il giorno infatti attinge la sua durata minima al solstizio d'inverno, il 21 dicembre, e la massima al solstizio d'estate il 21 giugno; la notte esattamente il contrario. Fatti i debiti calcoli, computando l'ora con i minuti attuali quella diurna romana passava da un minimo di 45 minuti il 21 dicembre, ad un massimo di 75 il 21 giugno e viceversa per la durata di quella notturna. Un'escursione di circa il 50%, 30 minuti nell'arco di sei mesi, che coincide con la nostra durata soltanto in due giorni dell'anno: il 21 marzo, equinozio di primavera, e il 21 settembre, equinozio d'autunno. Al solstizio d'inverno in questo modo le ore diurne si succedevano come indicato sotto.

I	hora prima	dalle 7.33 alle 8.17
II	hora seconda	dalle 8.17 alle 9.02
III	hora tertia	dalle 9.02 alle 9.46
IV	hora quarta	dalle 9.46 alle 10.31
V	hora quinta	dalle 10.31 alle 11.15
VI	hora sexta	dalle 11.15 a mezzogiorno
VII	hora septima	da mezzogiorno alle 12.44
VIII	hora octava	dalle 12.44 all'1.29
IX	hora nona	dall'1.29 alle 2.13
X	hora decima	dalle 2.13 alle 2.58
XI	hora undecima	dalle 2.58 alle 3.42
XII	hora duodecima	dalle 3.42 alle 4.27

Dall'alto: *Atene, la Torre dei Venti, ritenuto un grande orologio ad acqua; Berlino, un attuale ed avveniristico orologio ad acqua.*

Al solstizio d'estate la scansione mutava come sotto.

I	hora prima	dalle 4.27 alle 5.42
II	hora seconda	dalle 5.42 alle 6.58
III	hora tertia	dalle 6.58 alle 8.13
IV	hora quarta	dalle 8.13 alle 9.29
V	hora quinta	dalle 9.29 alle 10.44
VI	hora sexta	dalle 10.44 a mezzogiorno
VII	hora septima	da mezzogiorno all'1.15
VIII	hora octava	dall'1.15 alle 2.31
IX	hora nona	dalle 2.31 alle 3.46
X	hora decima	dalle 3.46 alle 5.02
XI	hora undecima	dalle 5.02 alle 6.17
XII	hora duodecima	dalle 6.17 alle 7.33

Sopra: *L'obelisco di Montecitorio.*
A fianco: *Gli ultimi riscontri di bronzo dell'orologio solare di Augusto.*

Fra il 10 e il 6 a.C., Augusto fece erigere a Roma una meridiana gigantesca con l'obelisco di Montecitorio come gnomone, la cui ombra indicava le ore su delle apposite tacche di bronzo incastrate nella pavimentazione stradale. L'evento dimostra il crescente interesse per la conoscenza dell'ora, esito di un evolversi dei comportamenti sociali. La prestazione degli orologi solari divenne, perciò, sempre più utile, facendo pesare la sua mancanza quando, per le nuvole, il sole non compariva. Intorno al I secolo a.C., come accennato, gli orologi ad acqua erano ormai numerosi a Roma, pubblici e privati: nel giro di alcuni decenni quella moda si trasformò in una ostentazione di agiatezza e distinzione, senza tuttavia innescare un andazzo di vita più frenetico, simile al nostro. Una moda che, paradossalmente, rese molto più difficile conoscere l'ora poiché risultava più facile mettere d'accordo fra loro più filosofi che accordare tra loro più orologi: "*horam non possum certam tibi dicere; facilius inter philosophos quam inter horologia convenit*" - Non posso dirti con certezza che ora è, poiché è più facile stabilire

un accordo tra i filosofi che tra gli orologi.[52] L'ora romana restò sempre approssimativa.

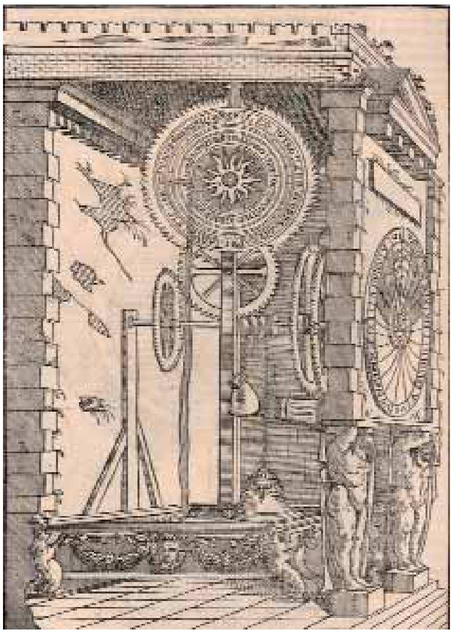
Nessuna meraviglia che persino il geniale Ctesibio, uno dei vertici della scienza ellenistica nonché direttore della Biblioteca di Alessandria, si cimentò nella fabbricazione di un cronometro ad acqua di straordinaria complessità, di cui Vitruvio ci ha lasciato la solita confusa descrizione.

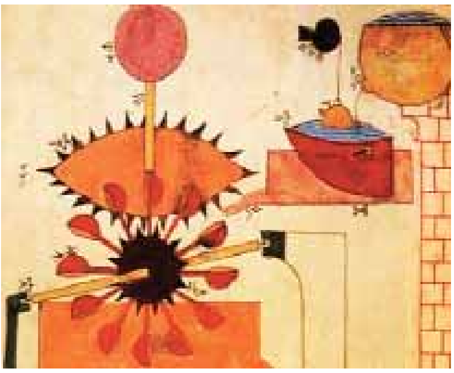
5.2 La clessidra di Ctesibio

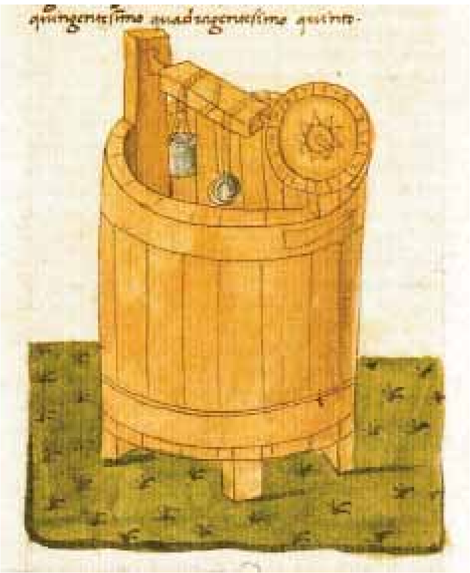
L'orologio ad acqua fu una delle macchine automatiche antiche concettualmente più semplici e, al contempo, fra le più complesse dal punto di vista meccanico. Constava, in ultima analisi, di un recipiente colmo d'acqua che si svuotava tramite un piccolo foro e di un recipiente inferiore che, invece, si riempiva. Anche la clessidra di Ctesibio funzionava sul tempo di deflusso dell'acqua da un serbatoio sovralimentato, in modo che il suo livello fosse costante. Stando a Vitruvio, la vera novità fu un sistema d'alimentazione costituito da una sorta di chiave d'arresto in miniatura ottenuta, come tutte le più grandi, con due piccoli tubi coassiali, muniti d'un foro coincidente. L'interno si collegò al serbatoio e l'esterno al recipiente di raccolta. Fatto ruotare per un semestre il primo, il foro si chiudeva con estrema lentezza e, per conseguenza, si riduceva la fuoriuscita dell'acqua dal secondo; continuando a girare nel semestre successivo, il foro si riapriva altrettanto lentamente, incrementando la portata dell'acqua. Equiparando empiricamente il deflusso dell'acqua alla durata della giornata, nel semestre aperto dal solstizio estivo l'ora si sarebbe gradatamente accorciata, per poi allungarsi gradatamente nel successivo. Così, pertanto, Vitruvio,[53] nella traduzione appena aggiornata di Baldassare Orsini del 1802:

8 - Si fanno ancora delle altre specie di orologi d'inverno, che si dicono anaforici, i quali si comprendono con le seguenti regole. Vi si distribuiscono colla figura dell'analemma le ore con fili di metallo sopra la facciata, le quali coincidano nel centro. In essa facciata vi sono formati intorno dei cerchi, coi quali vengono delimitati gl'intervalli d'ogni mese. Dietro questi fili va collocata una ruota in cui sta disegnato e dipinto il cielo col cerchio dello zodiaco, nel quale sono rappresentati i simboli dei dodici segni zodiacali, gli spazi dei quali siano più o meno ampi, con linee dirette verso il centro della ruota. Nella parte di dietro della ruota vi è fissato al centro un perno in grado di girare, al

52 Da L. A. SENECA, *Apocolocyntosis*, II.
53 VITRUVIO, *De architectura*, lib. IX, 9.







L'orologio ad acqua concepito da Ctesibio e descritto da Vitruvio in diverse interpretazioni. Dall'alto: Daniele Barbaro nella sua versione del De architectura; un manoscritto arabo del XIII sec.; Roberto Valturio nel XIV-XV sec..

quale è solidale una catenella ad un capo della quale sta fissato un sughero, ossia un galleggiante, che sia sollevato dall'acqua e dall'altro capo un contrappeso.

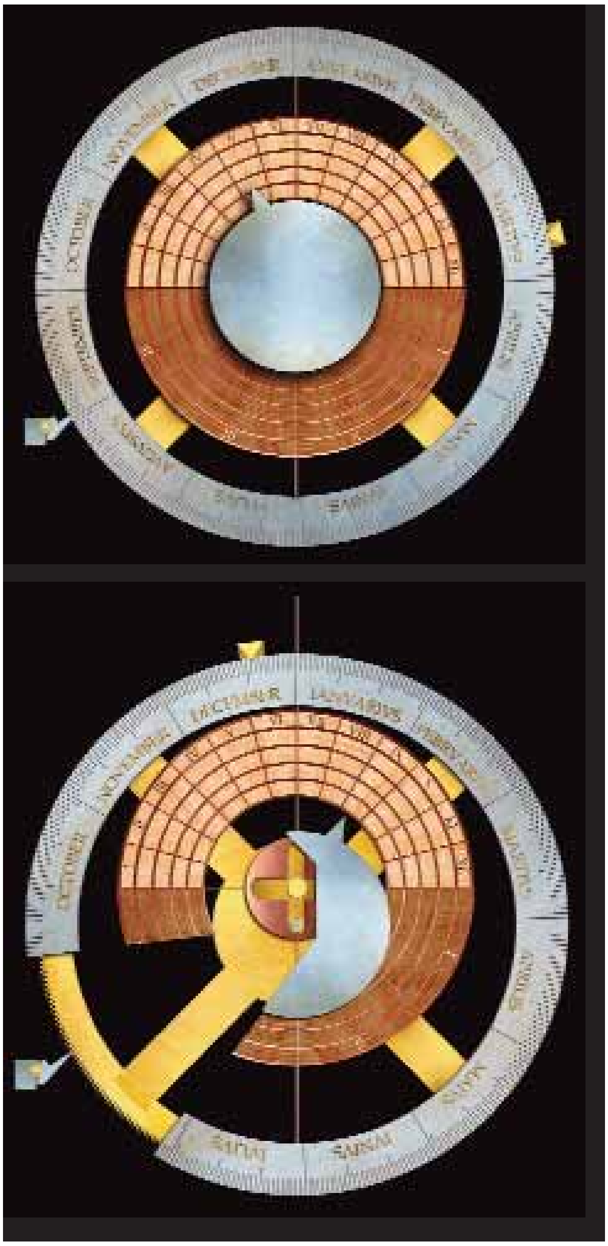
9 - Così per quanto si alza il sughero di tanto si abbassa il contrappeso, provocando la rotazione del perno, e con lui la ruota; pertanto questo girare della ruota fa sì, che girandosi in un tempo una delle parti maggiori dello zodiaco, ed in un altro tempo una delle minori, in codeste rivoluzioni si additino a' tempi proprii il naturale intervallo delle ore. Dal momento che in ciascuno dei dodici segni di ogni mese vi sono esattamente incisi i numeri dei giorni, considerando che l'indice che negli orologi suole farsi a forma di Sole additando lo spazio delle ore movendosi da incisione ad incisione dei detti numeri, indica il corso di ogni mese.

10 - Siccome il Sole movendosi per i celesti segni, allunga ed accorcia i giorni, e le ore, così l'indice negli orologi entrando da punti opposti al centro, intorno a quale si fa girare la ruota, portandolo quotidianamente in alcuni tempi agli intervalli maggiori, ed in altri tempi ai minori, alla fine di ogni mese avrà trascorso i segni delle ore e dei giorni. Intorno poi al doversi regolare l'acqua, ed in qual maniera ella misuratamente si moderi, si dovrà praticare in questa maniera.

11 - Dietro la mostra dell'orologio si faccia un serbatoio, dentro il quale, per un tubicino vi scorra l'acqua, e nel suo fondo vi sia un foro, a cui venga fissata una rotella di bronzo, munita anch'essa di un foro da dove l'acqua possa uscire dal serbatoio. Dentro codesto buco vi sia una rotellina ben levigata al tornio, e con i suoi pezzi per poterla girare a mano, cosicché il maschio e la femmina vadano a stringersi insieme a foggia di chiave, ma che però dolcemente si possa girare la rotellina entro il buco della rotella maggiore.

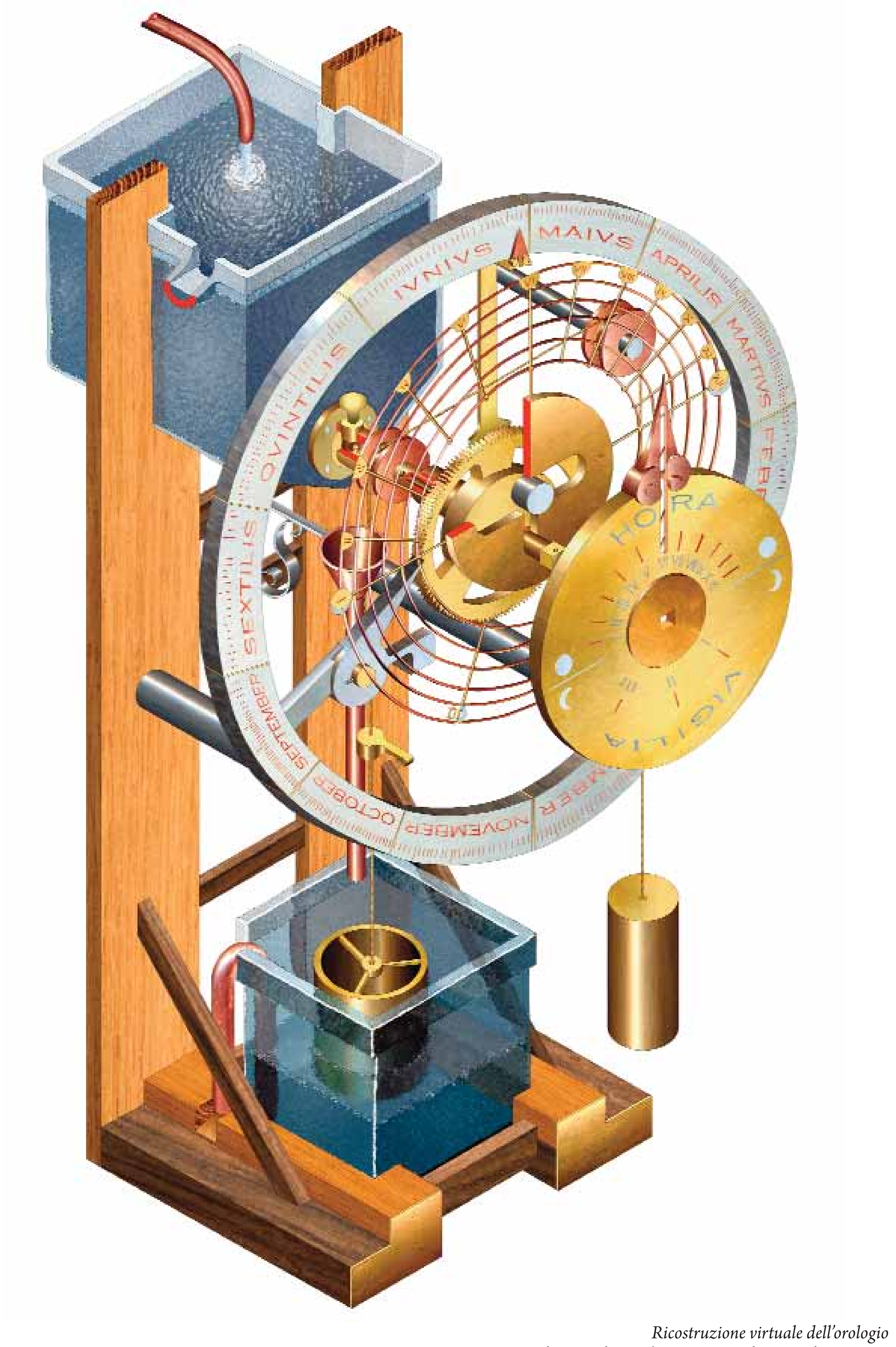
12 - L'orlo di poi di codesta rotella abbia segnati intorno 365 punti a distanza eguale fra di loro, e la rotellina abbia fissata nella sua circonferenza una linguetta, il cui apice vadasi a dirigere ad essi punti. In questa rotellina poi si deve fare un foro della stessa dimensione di quello da dove passa l'acqua dalla rotella a codesto foro, lo che serva di registro all'orologio. Ora che nel margine della rotella sono già stati incisi i segni celesti, la si faccia star ferma, quando alla sommità di essa si abbia il segno del Cancro, ed a perpendicolo al di sotto quello del Capricorno, ed a destra di chi rimira l'orologio la Libra, ad a sinistra l'Ariete; e tutti i rimanenti segni rimarranno distribuiti fra i detti, e come si vedono in Cielo.

13 - Quando dunque il Sole si trova nell'arco del Capricorno, la linguetta deve toccare il punto della



In alto: *Ricostruzione schematica prospetto clessidra automatica, al solstizio d'inverno, 21 dicembre. A quello d'estate, 21 giugno, la configurazione appariva simmetrica verso il basso.*
Sopra: *Prospetto schematico della clessidra automatica all'equinozio di primavera e di autunno, 21 marzo, 21 settembre.*

rotella corrispondente al Capricorno, e ogni giorno va toccando un punto; e perché ha sopra a piombo il grave peso dell'acqua che scorre, ella con velocità per il foro della rotellina si scarica nel vaso, il quale ricevendola, come che in breve egli si riempie, sminuisce, ed accorcia gli spazi minori dei giorni, e delle ore. Qualora poi per il giro che fa la rotellina in ogni dì entra la linguetta in Acquario, in ogni dì il foro si discosta vieppiù dal piombo, ed il peso dell'acqua che non può agire con veemenza la farà zampillare con più lentezza. Pertanto con quanta



Ricostruzione virtuale dell'orologio ad acqua di Ctesibio, così come descritto da Vitruvio.

meno velocità l'acqua si scarica nel vaso tanto più si allunga il tempo alle ore.[A26]

Ma il meccanismo descritto da Vitruvio non avrebbe funzionato con la necessaria precisione, poiché non esiste una corrispondenza lineare tra la variazione del foro e la fuoriuscita dell'acqua, meno che mai con grandezze molto ridotte. Probabile, invece, che la velocità di deflusso fosse sempre rigorosamente costante, servendo i due tubicini solo alla taratura dell'orologio. In pratica allorquando s'istallava, si portavano a coincidere due inneschi successivi del sifone con due albe o due tramonti successivi, agendo proprio sulla rotazione del tubicino esterno, dopo di che il meccanismo procedeva automaticamente alle quotidiane compensazioni, che avvenivano come segue.

Il ciclo si reiterava ogni nostre 24 ore esatte e, ogni giorno, un arpione snodato, azionato dal galleggiante spostava uno dei 365 denti di una grande ruota. La sua rotazione completa, che avveniva in un anno, provocava con una camma l'accentuarsi e il contrarsi dell'eccentricità del quadrante su cui un disco-indice, spostandosi di un giro ogni 24 ore dello stesso ciclo, scandiva l'ora. Pertanto, pur essendo costante la velocità angolare del disco indice, mutava, mutando l'eccentricità del quadrante, l'arco corrispondente ad un'ora e quindi la sua durata, con un'escursione del 50% a semestre. I valori massimi e minimi coincidevano con i due solstizi; i medi con i due equinozi, allorquando disco indicatore e quadrante circolare risultavano geometricamente concentrici. Per favorire la lettura, intorno alla corona vi erano sei anelli concentrici, uno per ogni mese del semestre, scanditi da 12 raggi nella metà superiore, uno per ogni ora del giorno, e 4 in quella inferiore, uno per ogni 3 ore della notte, pari a un turno di guardia delle sentinelle.

Infine, compiendo la grande ruota dentata un solo giro l'anno, un indice ad essa solidale indicava sulla corona il giorno, il mese e il relativo segno zodiacale artisticamente incisi.

6. Deflussi sincroni

6.1 Telegrafo ad acqua

Un comparto della tecnologia romana praticamente ignorato è quello relativo alle telecomunicazioni, che essendo per noi sinonimo di trasmissioni radio, effettuate cioè tramite oscillazioni elettromagnetiche ad altissima frequenza, ci è parso ovvio escluderle in blocco dal passato. Conclusione che insiste su due presupposti, quasi dei postulati: che l'attuale sistema sia l'unico possibile e che non vi siano prove di alcun tipo di sistemi di comunicazioni a distanza non epistolari. A ben riflettere, però la realtà dovette essere necessariamente diversa, soprattutto in un Impero esteso, sia pure solo parzialmente, su tre continenti, con eserciti stanziati lungo frontiere di migliaia di chilometri in perenne stato operativo, e pertanto necessariamente in attesa di ordini e disposizioni, e con diverse flotte in navigazione nel Mediterraneo, nel Baltico, nel mar Rosso e persino negli oceani Atlantico e Indiano!

Da tempo immemorabile la segnalazione ottica con il fuoco di notte e il fumo di giorno aveva, in qualche modo, consentito se non la trasmissione dei messaggi[54], almeno la comunicazione degli eventi concordati. Uno specchio al sole, propriamente definito eliografo, poteva inviare anche a decine di chilometri di distanza lampi codificati, ma erano comunque esiti di occasionali convenzioni. Qualche problema, infatti, derivava dall'angolo degli specchi rispetto al sole, per cui la trasmissione e l'eventuale risposta, anche dando per scontato un codice tipo Morse, sarebbero potute avvenire soltanto secondo alcune direttrici, e in alcuni intervalli della giornata. Mai di notte, col cielo coperto e al di fuori di quegli scorci, peraltro variabili con le stagioni, senza contare l'irrisolto problema dell'estrema irrilevanza della quantità di informazioni così trasferibili. Probabile che si elaborarono ed adottarono anche degli eliografi notturni, o per meglio dire si adattarono i fari a tale funzione, dal momento che funzionando verosimilmente a combustibile liquido, si prestavano all'impiego, essendo sufficiente munirli di lamiere posteriori girevoli, fungenti da riflettore. Essendo la loro fiamma verticale, con la rotazione del riflettore si poteva deviare in qualsiasi direzione il fascio luminoso, e perciò eclissarlo nell'opposta. Il sistema attinse una discreta funzionalità, ma non per questo riuscì a trasmettere qualcosa in più dei soliti semplici segnali binari. Fornì però il presupposto per rendere finalmente utile il trasmettitore a dispaccio fisso o telegrafo ad acqua, definibile tecnicamente *telescrittore sincrono*, inventato già da alcuni secoli da tecnici greci e descritto da Enea il Tattico[55] e così rievocato da Polibio[56]:

"*Enea* [il Tattico], *che compose un'opera 'Sulla strategia' cercò di rimediare a questo inconveniente*

A26 Testo originale Allegato 26, in Allegati.

54 Cfr. AA.VV., *Le trasmissioni dell'esercito nel tempo,* Roma 1995, pp. 5-14.

55 Cfr. ENEA il TATTICO, *Poliorketika,* lib. X, 44.

56 Da POLIBIO, *Storie,* lib. X.

Sopra: *Ricostruzione grafica dell'utilizzo del telegrafo ad acqua.*
A fianco: *Moderno bassorilievo greco raffigurante il telegrafo ad acqua di Enea il Tattico.*

e fece effettivamente un progresso, ma non riuscì ad innovare radicalmente il metodo delle segnalazioni luminose, come non è difficile dimostrare. Egli dice che coloro che vogliono comunicarsi qualche cosa per mezzo di segnalazioni luminose, debbono preparare dei vasi di terra perfettamente uguali fra loro in larghezza e profondità;…Egli consiglia poi di preparare dei sugheri un po' meno larghi dell'imboccatura dei vasi: in questi si devono conficcare dei bastoncini di tre dita, divisi in parti uguali, ciascuna delle quali porta una iscrizione ben chiara.

…Si deve poi praticare accuratamente un foro nel fondo di ciascuno dei vasi, in modo che i canaletti di scarico siano perfettamente uguali e ne sgorghi una identica quantità di liquido; dopo aver riempito i vasi d'acqua, si chiudono con i sugheri nei quali sono conficcati i bastoncini e si lascia poi scolare contemporaneamente l'acqua attraverso i canaletti. Poiché da entrambe le parti tutto è stato costruito allo stesso modo, necessariamente, mano in mano che il liquido esce, scendono di uguale tratto nei vasi i sugheri con i bastoncini.

Preparato tutto il necessario, in modo che vi sia perfetta coincidenza e accordo fra le due parti, gli uomini incaricati delle segnalazioni luminose si recano nelle località prestabilite e vi portano i loro vasi. Quando si verifica uno degli avvenimenti segnati sul bastoncino, viene levata una fiaccola accesa che non si abbassa finché dall'altra parte non ne venga alzata una in risposta. Avvenuto questo, si tolgono insieme le fiaccole e subito si lascia scorrere l'acqua dai vasi. Quando il sughero è sceso fino al punto necessario perché l'iscrizione corrispondente agli avvenimenti sia all'altezza dell'orlo del vaso, chi fa la segnalazione leva di nuovo la fiaccola; chi la riceve chiude subito il canaletto e guarda che cosa sia scritto sulla bacchetta all'altezza dell'orlo del vaso; sarà questa la notizia …se i movimenti sono avvenuti sincronicamente.

Questo metodo di trasmissione è un poco migliore di quelli con semplici segnali, ma è ancora troppo impreciso; evidentemente infatti non è possibile prevedere tutto il futuro…".

Sebbene poco flessibile, come osservava Polibio, il telescrittore consentiva degli ottimi collegamenti di tipo militare fra capisaldi avanzati e retrovie, essendo i relativi dispacci di scarsissima variabilità. Per il resto l'apparecchio appare semplicissimo, senza alcuna distinzione fra quello trasmittente e ricevente, per cui lo stesso assolveva, a fasi alterne, entrambe le funzioni. Volendo poteva anche servire come ripetitore intermedio, in modo da consentire trasmissioni di gran lunga maggiori del raggio d'azione dell'eliografo, o dei singoli fari. In larga massima consisteva in un contenitore cilindrico, con alla base un rubinetto e, all'interno, un galleggiante graduato. Così per esempio, una sequenza di solo quattro dispacci:

I- Nulla questio;
II- Auxilia navalia;
III- Milites deficiunt;
IV- Non habemus panem.

Ad ogni tacca, contraddistinta da un preciso numero corrispondeva un diverso messaggio prestabilito. Costruiti meticolosamente identici, per volume e per rubinetto, erano collocati uno per ogni stazione, riempiti d'acqua fino al livello massimo, in attesa di utilizzo. Per iniziare la trasmissione si lanciava al ricevente un lampo di luce, mediante uno specchio metallico, di giorno con il sole di notte eclissando una fiamma. Ottenuta la conferma con un secondo lampo analogo di risposta, cioè di avvenuto collegamento, con un terzo si ordinava la contemporanea apertura dei rubinetti. L'acqua iniziava, così, a defluire dai contenitori, provocando in entrambi una sincrona discesa del galleggiante graduato, tacca dopo tacca. Allorché nel trasmittente la tacca numerata, corrispondente al dispaccio prescelto, giungeva a sfiorare il bordo superiore del cilindro, un ultimo lampo ordinava la chiusura dei rubinetti, consentendo di leggere sul ricevente il medesimo numero del trasmittente, ovvero il messaggio.

Volendone scandire la sequenza operativa, supponiamo un contenitore di 30 cm di diametro per circa un metro di altezza, suddiviso in 10 tacche, una ogni 10 cm. Se munito di un rubinetto da 10 litri al secondo, l'avvicendamento di ogni tacca richiede circa 80 secondi, che portano a quasi 12 minuti il tempo necessario per trasmettere l'ultima. Sicché, per trasmettere il messaggio III-Milites deficiunt del nostro tabulato, ovvero che *mancano i soldati*, trascorrono tra il secondo e il terzo lampo soltanto 4 minuti!

Da un punto di vista strettamente tecnico si trattava di un antesignano sistema a trasmissione sincrona, simile per concetto ad un odierno telefax. Il dispaccio, infatti, non veniva trasmesso tramite una variazione analogica, quale che fosse, ma ricostruito per contemporaneità d'interventi tra la stazione trasmittente e ricevente. Dal momento che erano trasmessi esclusivamente i comandi di apertura e chiusura relativi ad un preciso apparecchio, qualora fossero stati intercettati, non se ne ricavava alcun significato.

L'apparecchio appena delineato si dimostrò affidabile e semplice da costruire a da impiegare. È probabile che con leggere modifiche del galleggiante, magari trasformato in un cilindro graduato appena più piccolo del contenitore, una sorta di gigantesca siringa per uso medico, si sia ottenuto un apparecchio capace di funzionare anche su superfici instabili, quali le navi. Circa la sua portata massima, dipendeva, come accennato, soltanto dall'eliografo, cioè dalla visibilità del suo segnale luminoso. Se questo, ad esempio, fosse stato lanciato dal faro di Alessandria, il raggio di trasmissione avrebbe potuto raggiungere i 60 km, una quarantina per quello di Miseno. È presumibile, però, che abitualmente non si superassero tratte di una trentina di km, ricorrendo per le maggiori a ripetitori o ad altri sistemi di telecomunicazione che in seguito esamineremo.

Ricostruzione virtuale del telegrafo ad acqua.

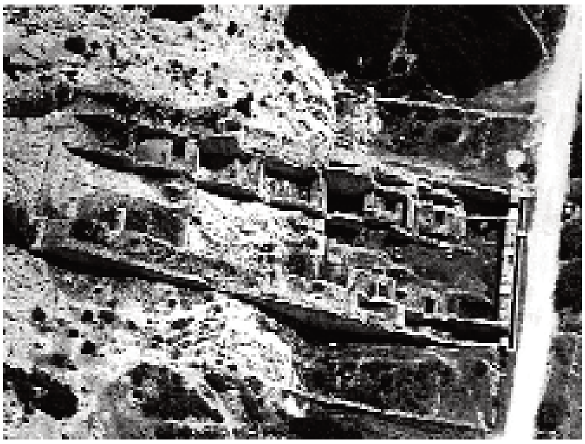
7. I motori dello stato liquido

L'acqua, che richiede una discreta quantità di energia per essere innalzata, può a sua volta fornire una discreta quantità di energia, quando cade sopra una ruota a palette o soltanto la trascina. Tanto della prima evenienza, quanto della seconda, abbiamo dalle fonti esplicite testimonianze letterarie e dettagliate descrizioni nei trattati, nonché alcuni significativi reperti, il più famoso dei quali è senza dubbio la cosiddetta *ruota di Venafro*. Oltre alle ruote azionate per caduta, o alimentate da sopra, ed a quelle per trascinamento, o da sotto, entrambe però ad asse orizzontale, ve n'erano altre anche ad asse verticale, che forse furono le più arcaiche e le meno potenti.

Va inoltre osservato che esistevano impianti con più ruote, collocate a varie quote, in modo da poter sfruttare il medesimo flusso d'acqua suddividendolo in più cadute, in sostanza la variante motrice delle norie sovrapposte, poiché la forza di un unico grande dislivello eccedeva la resistenza meccanica delle ruote.[57]

57 Cfr. B. GILLE, *Storia delle…*, cit., pp. 216-220.

Sotto: *Resti del canale di alimentazione dell'impianto di Barbegal.*
A fianco in alto ed al centro: *Ruderi del grande impianto molario di Barbegal in Francia, composto da 16 ruote su otto salti.*
A fianco, sotto: *Modello ricostruttivo dello stesso.*



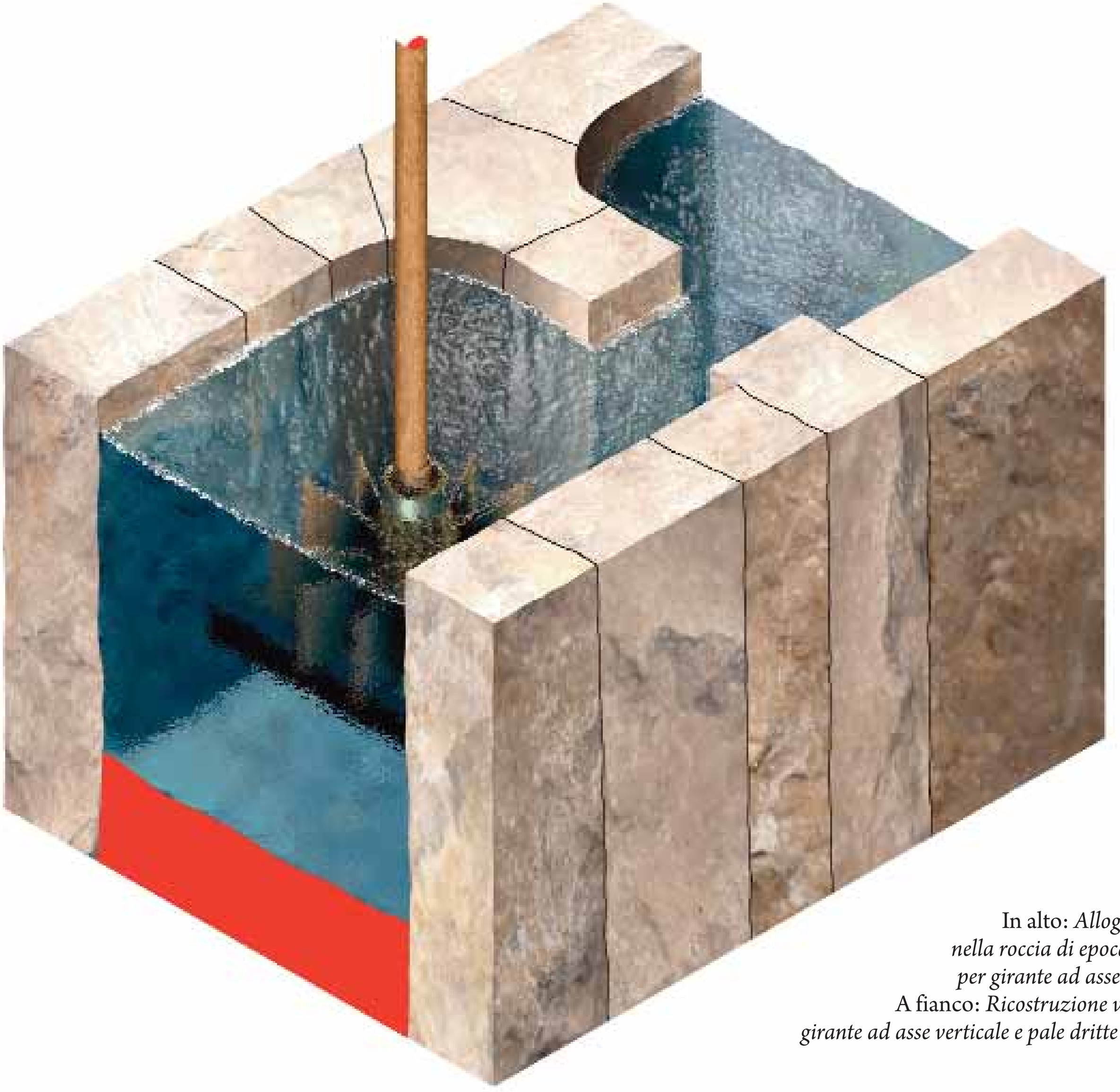
7.1 Girante ad asse verticale e pale dritte

La stretta somiglianza fra il mulino a vento ad albero verticale, con girante sullo stesso asse delle macine, e quello rudimentale ad acqua di arcaica concezione e di similare configurazione, meglio noto come *mulino scandinavo* o *greco*, ha indotto alcuni studiosi a ritenere il primo una derivazione del

secondo. Ma, dal momento che non si ha alcuna certezza circa la località in cui la prima ruota idraulica iniziò a girare, nessun riscontro suffraga tale priorità, meno che mai la suddetta somiglianza, che potrebbe dimostrare pure il contrario. Di questo avviso sono, infatti, altri studiosi per i quali la girante idraulica ad asse verticale rappresentò un adeguamento dell'eolica ai piccoli e vorticosi corsi d'acqua, tipici della Scandinavia e della Grecia. Quale che sia stata l'origine di tale ruota è fuor di dubbio che, dove e quando comparve, si dimostrò di scarsa potenza ma ideale per i regimi torrentizi.[58]

In linea di massima, constava di un albero munito intorno alla parte inferiore di tozze palette, disposte come i raggi di una ruota. Si trattava di otto o dodici tavole, solide e spesse, lunghe non più di mezzo metro e larghe poco meno. Un buco nella roccia, sul fondo del torrente, fungeva da boccola per la base

58 Cfr. T. K. DERRY, T. I. WILLIAMS, *Tecnologia e civiltà…*, cit., pp. 290-294.



In alto: *Alloggiamento nella roccia di epoca romana per girante ad asse verticale.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale di girante ad asse verticale e pale dritte in acqua.*

Sopra: *Ricostruzione virtuale di mulino a girante ad asse verticale e pale dritte fuori dall'acqua.*
In alto a destra: *Macina di pietra egizia per girante ad asse verticale.*

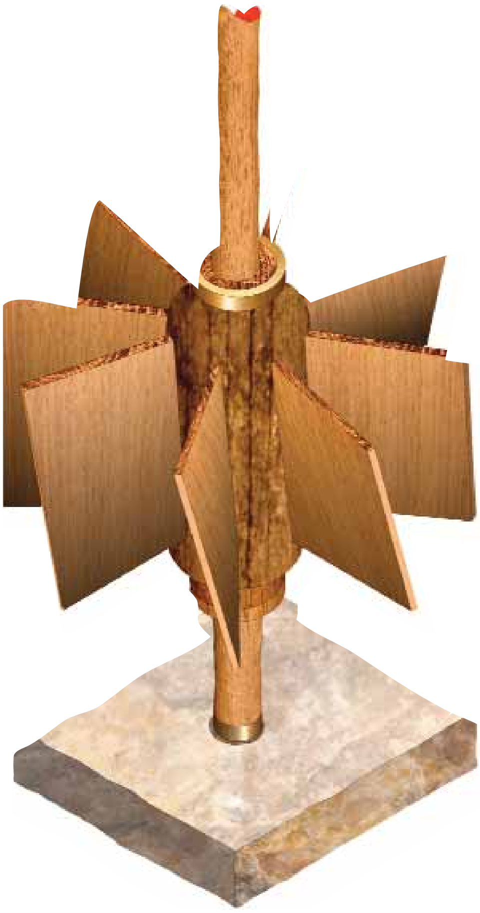
dell'albero, la cui estremità opposta stava incastrata nella macina, a sua volta adagiata sopra l'altra identica, ma fissa. Questa rozza girante, immersa verticalmente, opponeva una forte resistenza alla corrente: essendo però identica sia quella offerta dalla pala di destra che di sinistra, non poteva girare se non schermandone una. In pratica il corso della corrente si doveva restringere alla metà del diametro della ruota, strozzatura ottenuta ostruendo in parte l'alveo di adduzione, mediante un condotto a imbuto o tramite un'embrionale paratoia. Plausibile immaginarle costruite rispettivamente con un setto verticale di pietre, o con alcuni tavoloni, saldamente ammorzati alla sponda adiacente. Questo tipo di ruota conobbe ampia diffusione per la notevole semplicità costruttiva e per l'idoneità d'impianto anche nei più piccoli torrenti.

7.2 Girante ad asse verticale e pale oblique

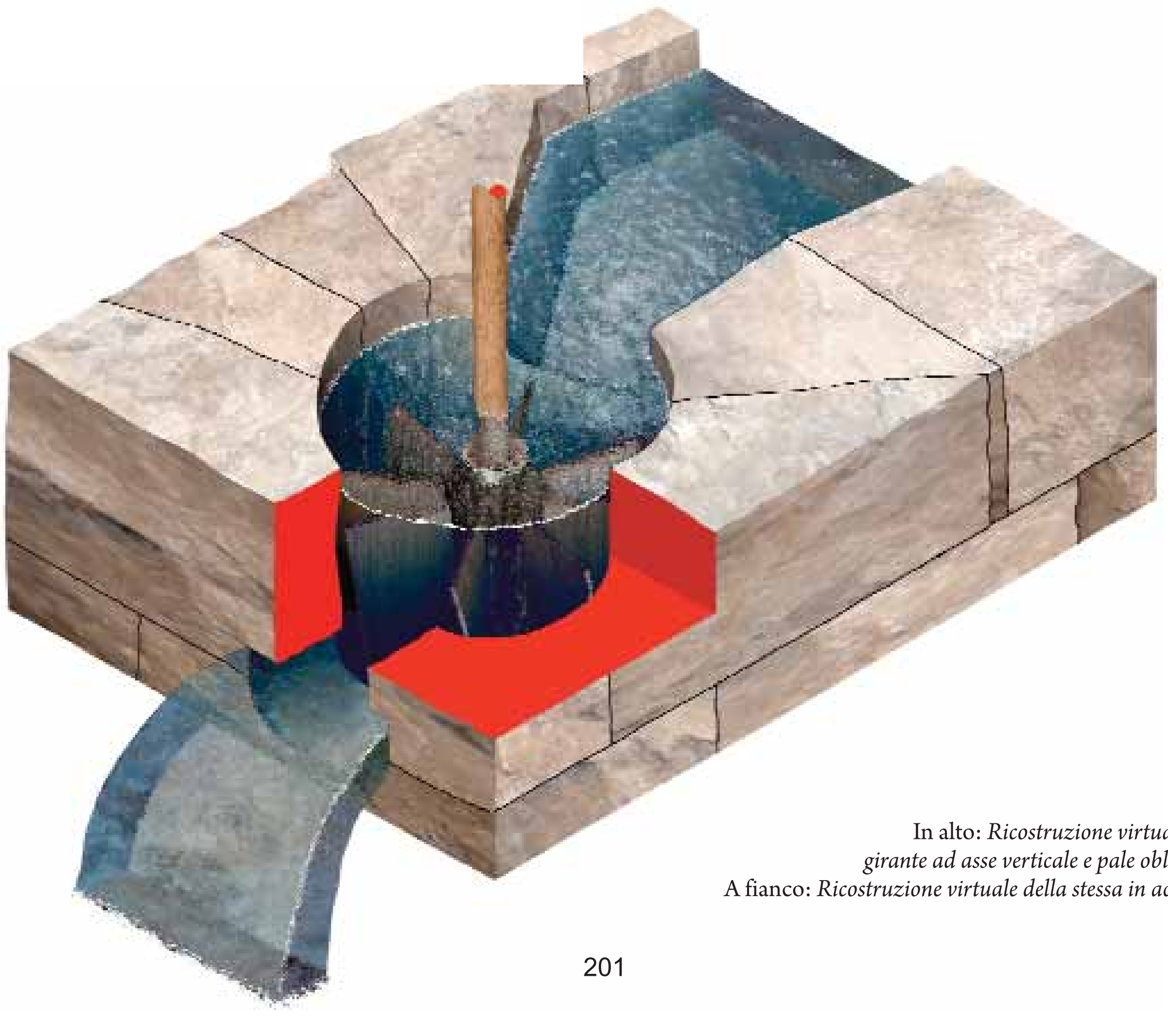
Forse fu la difficoltà di modificare in modo stabile l'alveo di un torrente, per adeguarlo alla girante a pale dritte, a suggerire di innestare le pale sul mozzo con un leggero angolo rispetto al suo asse longitudinale; o forse lo stimolo provenne dagli impennaggi obliqui dei dardi o da qualche conchiglia rotta. Sta di fatto che montando le palette inclinate, la girante ottenuta ricordava a grandi linee un moderno ventilatore assiale multipale, e più ancora un ingranaggio elicoidale o un'elica marina. Curiosa e al contempo emblematica la somiglianza con un tipo di stele funebre maschile di ambiente islamico, che, in teoria, vorrebbe ricordare un turbante stilizzato. In realtà il cippo se ne discosta vistosamente, per la sua stretta simmetria, e finisce piuttosto per rievocare proprio la ruota a pale oblique, inventata in quella stessa regione del vicino oriente, alcuni millenni prima, tanto da costituire un'emblematica reminiscenza: del resto è ancora evidente la comune etimologia di turbante e turbina.

Assodata la connotazione della girante a pale oblique, è facile comprenderne i vantaggi, ora come allora. Nessuna esigenza di schermatura o di strozzatura dell'alveo, dal momento che un qualsiasi salto dell'acqua, o persino un corso più veloce, bastava a porla in rotazione. In definitiva qualsiasi piccolo torrente, a forte pendenza e debole portata, poteva così trasformarsi proficuamente in una fonte energetica, immergendovi con l'asse verticale o appena inclinato la girante. In tal modo, infatti, la corrente investiva contemporaneamente tutte le sue pale, con la stessa intensità, provocandone la rotazione per la loro opposta angolazione. Il che le garantiva rendimenti maggiori di quella a pale perpendicolari a parità di diametro e d'impeto della corrente.[59]

Va osservato che nei disegni dei tecnici rinascimentali, quali Mariano di Jacopo, Francesco di Giorgio Martini e lo stesso Leonardo da Vinci, compare spesso una ruota idraulica orizzontale, dalle pale a forma di semi cucchiaio, posta in rotazione da un getto d'acqua proveniente da un ugello anch'esso orizzontale. Un'inconfondibile raffigurazione compare pure in un arazzo cinese del XII secolo, portando a concludere sulla diffusione planetaria di



59 Cfr. L. WHITE jr, *Tecnica…*, cit., pp. 146-150.



In alto: *Ricostruzione virtuale di girante ad asse verticale e pale oblique.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale della stessa in acqua.*

In alto: *Kosovo, stele funebre islamica con turbante stilizzato.*
Sopra: *Turbina Kaplan, simile ad un'elica marina.*

quella girante e, per ovvia conseguenza, sulla sua arcaicità. Quando Plinio il Vecchio[60] ricorda che *maior pars Italiae nudo utitur pilo, rotis etiam, quas aqua verset, obiter et mola* – la maggior parte d'Italia adopera un nudo pestello, ed anche ruote che l'acqua fa girare – sembra riferirsi ad una ruota idraulica del genere, la più semplice da costruire, detta anche *retricine.* Il vantaggio della macchina, di bassissima resa meccanica, era nella estrema facilità di accoppiamento con la macina rotante, fissata al suo stesso asse, al di sopra della macina fissa, che per certi versi fungeva anche da boccola per il lungo albero. In sostanza una leggera variante del mulino greco o scandinavo, la cui ruota non a caso viene considerata, più che un'arcaica ruota idraulica, la vera antenata delle turbine. Per l'esattezza la capostipite di una tipologia tutt'oggi impiegata, definita di *Kaplan*, molto somigliante ad un'elica marina, ottimale per piccoli dislivelli.

7.3 Girante ad asse orizzontale

Sotto il profilo meramente strutturale, sia la girante a pale dritte che quella a pale oblique non risultavano suscettibili di incrementare la potenza erogata al di là di un ben modesto valore. Le pale, che ne costituivano l'organo di presa dinamica, per l'intrinseca debolezza del materiale non dovevano, infatti, eccedere il metro di lunghezza per non finire spezzate dalla corrente. Impossibile, pertanto, costruire giranti più grandi e quindi impianti maggiori: la particolare tipologia di motore primario restava perciò rigidamente limitata, sopravvivendo relegata ad impieghi sempre modesti e marginali, a mala pena sufficienti per macinare piccole quantità di grano, appena superiori a quelle prodotte con macine asinarie o a mano.

Solo un diverso criterio informatore avrebbe consentito di superare lo stallo, favorendo la costruzione di ruote con coppie motrici di gran lunga maggiori, anche a scapito del già scarso rendimento complessivo. E, nel giro di alcuni secoli, giranti siffatte comparvero effettivamente, fornendo potenzialità fino allora inimmaginabili. Alle spalle dell'evento è plausibile supporre la casuale constatazione che una ruota a palette dritte sospesa con l'asse orizzontale e fatta lambire dalla corrente, girava liberamente e, soprattutto, sviluppava un'incredibile forza quando

60 PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. XVIII, 23, 97.

l'acqua invece vi cadeva sopra. In tal caso, infatti, a porla in rotazione non era più soltanto la velocità dell'acqua ma soprattutto il suo peso, azione dinamica accentuata dalla superficie e dalla lunghezza delle pale. Volendo anche schematicamente quantizzare i rendimenti relativi ai tre tipi di giranti abbiamo il 75% per quella alimentata dall'alto, il 60% per quella spinta lateralmente ed il 25% per quella trascinata dal basso. Senza contare che mentre per le ultime due le palette non si potevano in alcun modo ingrandire, per quella ad asse orizzontale non vi erano difficoltà ad allargarle e ad allungarle, tramite semplici rinforzi.

In alto e sopra: *Bassorilievi di macine asinarie.*
Nella pagina a fianco, in basso: *Macina a mano con le relative stanghe ricostruite.*

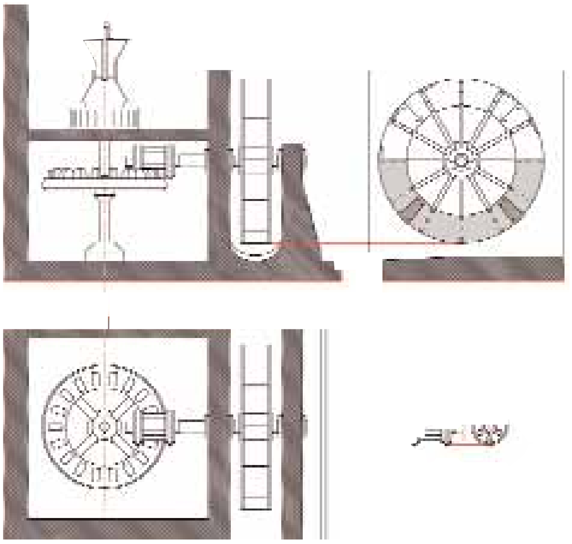
7.3.1 Ruote idrauliche per caduta e per trascinamento

Il processo così avviato determinò ulteriori modifiche: fu presto chiaro che una girante verticale, applicata ad un albero orizzontale, avrebbe potuto erogare una forza motrice tanto maggiore quanto maggiore fosse stata la corsa di caduta dell'acqua. Una adeguata canalizzazione munita di una saracinesca per la regolazione della sua quantità avrebbe permesso di variare persino la velocità di rotazione. Per avere pale più lunghe, queste furono serrate lateralmente fra due cerchioni metallici, desunti forse dalle norie dalle quali si cooptò pure un'altra caratteristica: la foggia a cassetta delle stesse pale. La lieve modifica, in pratica una sponda di legno di una trentina di centimetri per una ventina d'altezza, trattenendo l'acqua più a lungo sulla pala dopo il suo impatto, ne sfruttava meglio la forza peso, esaltandone il rendimento.

Dal punto di vista dinamico, un albero orizzontale non solo risultava più comodo da sostenere ma, anche, molto più facile da lubrificare persino in rudimentali boccole. Facile pure adattarvi un riduttore dentato del numero dei giri, avendo da tempo l'esperienza dimostrato che un'eccessiva velocità di rotazione delle macine bruciava il grano. Il che rendendo compatibile pure la lenta corrente dei grandi fiumi contribuì a concentrare canalizzazioni, giranti, riduttori e macine in un unico impianto, costruito a ridosso della sponda e delle aree coltivate. Sebbene si collochi la diffusione del mulino a acqua, quando non pure l'invenzione, in età medievale, fu in realtà quella classica ad assicurarsene pienamente tutti i benefici e con notevole ridondanza. Nel primo secolo, infatti, scriveva al riguardo Antipatro di Tessalonica: "*Smettete di macinare o donne che lavorate al mulino; dormite fino tardi, anche se il canto del gallo annuncia l'alba. Poiché Demetra ha ordinato alle Ninfe di fare il lavoro che facevano le vostre mani, ed esse, saltando dall'alto della ruota, fanno girare il suo asse che, con i suoi raggi rotanti, fa girare le pesanti macine concave del mulino.*"[61]

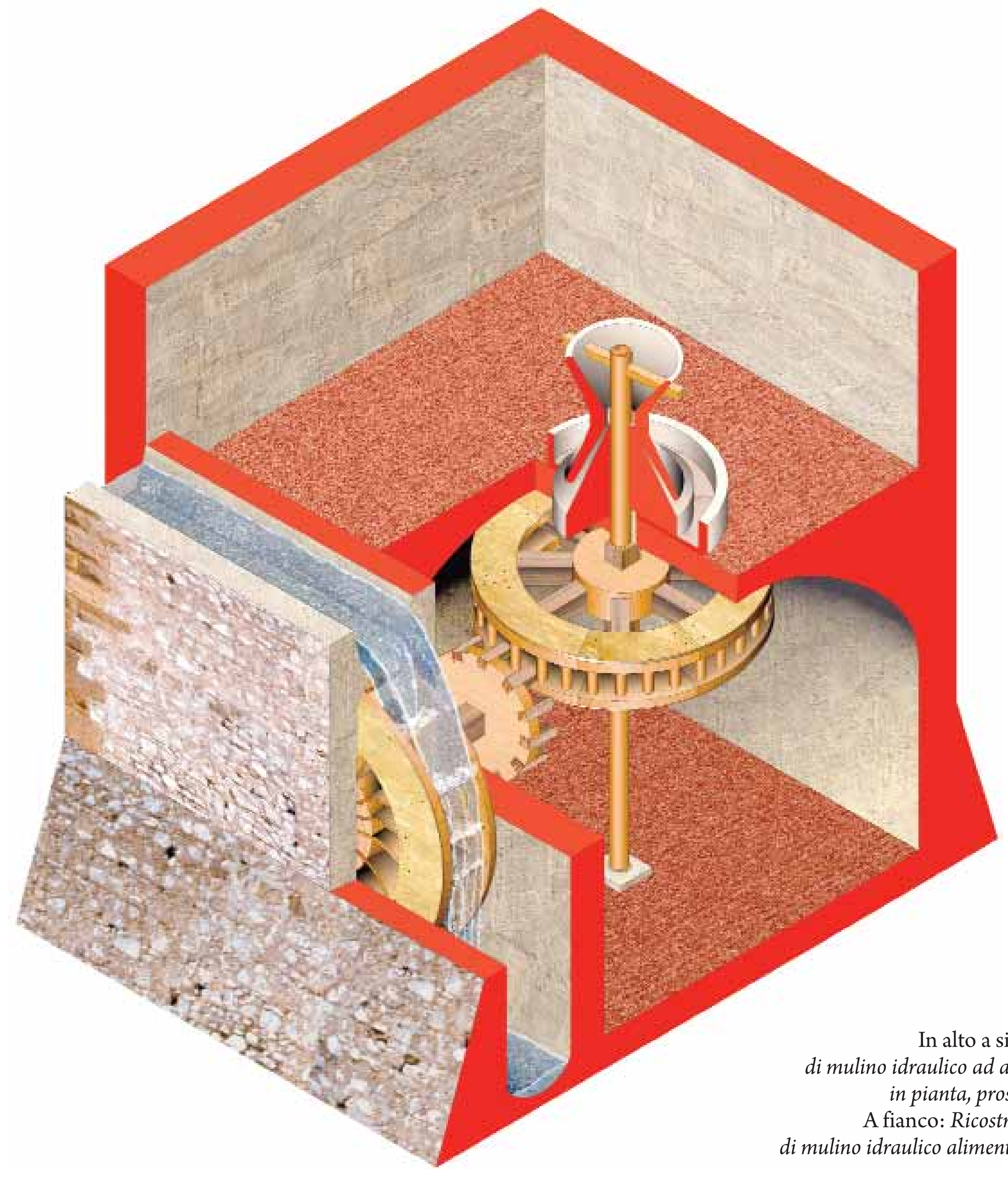
Antipatro, magari con qualche lieve imprecisione, aveva colto perfettamente sia l'utilità della macchina sia, soprattutto, la sua connotazione ottimale: una ruota alimentata dall'alto per caduta. E questa restò per quasi due millenni il miglior motore idraulico

61 Il celebre epigramma del poeta greco Antipatro di Tessalonica, vissuto al tempo di Augusto, è contenuto nella sua *Anthologia Palatina*.



primario, adattandosi in breve tempo a svariati impieghi, dalle seghe, ai mantici ed alle pompe di sollevamento dell'acqua. Purtroppo, essendo costruite in gran parte di legno e di ferro, ben poco è scampato alla dissoluzione e solo di recente si è scoperto uno straordinario bassorilievo che ne raffigura una, utilizzata per azionare una coppia di seghe per marmo, con tutte le relative componenti, consentendone la ricostruzione virtuale.

Anche della ruota idraulica l'archeologia ne ha trovato ed identificato alquanti frammenti, ma fra tutti il più consistente è senza dubbio quello di una ruota costruita dai veterani della colonia di Venafro, nel Molise, destinata al locale mulino. Di questo se ne può immaginare il criterio informatore osservando i ruderi del vicino mulino di Saepinum.



In alto a sinistra: *Schema di mulino idraulico ad asse orizzontale, in pianta, prospetto e sezione.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale di mulino idraulico alimentato per caduta.*

7.3.2 La ruota di Venafro

Un singolare reperto di ruota idraulica romana, fu rinvenuto a Venafro agli inizi del secolo scorso: non era quanto rimaneva della stessa ma qualcosa di molto simile ai calchi di Pompei, trattandosi appunto di un calco, sia pure di formazione naturale. Per molti aspetti aderisce alla descrizione di Vitruvio del mulino idraulico, da lui ricordato col nome di *hydroleta*, con queste parole[62]:

1 - Anche per i fiumi si costruiscono delle ruote simili a quelle già descritte, e nella fronte della loro circonferenza si collocano delle palette, che spinte dalla corrente, vengono costrette a girare, per cui attingendo con dei piccoli secchi l'acqua la sollevano in alto, senza che alcun uomo la spinga, ma con la sola forza della corrente.

2 - Nella medesima maniera si girano ancora le macchine idrauliche, nella quali vi sono le stesse componenti, ad eccezione di una che sta alla testa dell'asse ed è una ruota dentata. Questa montata verticalmente, gira insieme con la ruota. Al suo fianco ve ne è un'altra maggiore, altrettanto dentata, collocata però orizzontalmente, il cui asse ha in testa una coda di rondine [un incastro a coda di rondine] *di ferro inserita nella macina. Pertanto quando i denti della prima ruota verticale, ingraneranno quelli della seconda orizzontale, provocheranno la rotazione della macina, al di sopra della quale sta posizionata la tramoggia che somministra il grano alla macina stessa, e nel girare che essa fa, schiacciando il grano, ne fa uscire la farina.*[A27]

L'eccezionalità del reperto, fino ad ora l'unico del suo genere, giustifica una breve digressione sulla sua scoperta avvenuta nel 1914, nel corso della sistemazione dell'alveo del mulino di Laurenziana, a breve distanza dalle sorgenti del torrente Tuliverno, presso S.Maria dell'Oliveto. Nella circostanza, a circa 3 m

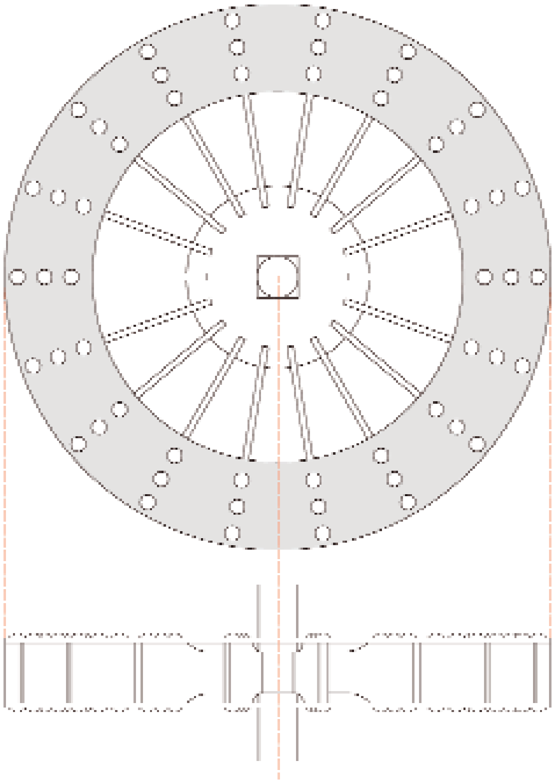
62 VITRUVIO, *De architectura*, lib. X, 5.

A27 Testo originale Allegato 27, in Allegati.

A fianco: *Saepinum, Cb, ruderi del sito del mulino romano.*
Sotto: *Parti del calco naturale della ruota di Venafro.*

di profondità, vennero alla luce due grosse pietre di natura vulcanica, una intera del diametro di cm 83 per uno spessore di 26 con foro centrale, l'altra rotta a metà. Fin qui nulla di eccezionale: vicino ad esse vi era però, in una formazione calcarea, una straordinaria impronta, lunga circa 40 cm e larga 12 con una profondità di una quindicina. Ad un sommario esame sembrò: "*un masso di fango, solidificato, con dei fori e delle striature caratteristiche. Assicurati dal Prof. Aurigemma al Museo Nazionale di Napoli, fu constatato trattarsi di un'antica ruota idraulica in legno, che, una volta annegata nella mota, vi aveva, dissolvendosi, lasciata completamente la impronta. Con mezzi ingegnosi e con pazienza infinita, senza alterare in nulla quello stampo, formatosi per un caso strano e originale, l'Ing. Jacono poté riprendere il rilievo e ricostruire la ruota nella sua perfetta integrità, perfino nel numero dei bulloni*..."[63]

63 Il brano è tratto da un articolo di M. FRANZETTI, *Tribuna*, 22.3.1933.



Sopra: *Ricostruzione grafica della ruota di Venafro, pianta e prospetto.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale della stessa.*

Dal punto di vista meramente energetico quella girante di m 2.10 di diametro, alimentata per caduta, capace di 45 giri al minuto, poteva erogare una potenza inferiore ai 2.5 kw, circa 3 hp, sufficienti forse a macinare 20 kg di grano all'ora: nulla, se paragonata agli oltre 100.000 hp forniti dalle nostre attuali turbine idrauliche, ma tanto se si considera che corrispondeva al lavoro, incessante, d'una mezza dozzina di schiavi! E dal momento che la mano d'opera, libera o servile che fosse, iniziava già ad incidere fortemente sui costi dei prodotti, ruote analoghe si moltiplicarono, collegandosi a volte in cascata in modo da sfruttare a pieno l'energia cinetica dell'acqua. A Barbegal, come già accennato, nel sud della Francia, già nel II secolo d.C. esisteva un grandioso complesso di molatura dotato di ben 16 mulini idraulici, collegati a coppie ed in serie, alimentati per caduta grazie all'apporto di un acquedotto preesistente. La sua potenzialità di molitura è stata stimata in circa 4 tonnellate di grano macinato al giorno, entità sufficiente al fabbisogno di almeno 10.000 persone.[64] Secondo alcuni studiosi l'impianto sarebbe da ascrivere ad un ingegnere locale, un certo Candido Benigno, ritenuto il più abile tra i costruttori di macchine idrauliche e condotte per l'acqua.

In questa pagina: *La ruota di Venafro ricostruita e collocata nella buca di quella similare di Saepinum.*

64 Circa il mulino di Barbegal, situato nel comune di Fontvielle, nei pressi dell'abbazia di Montmajor, va precisato che è ritenuto il maggiore finora conosciuto dell'età classica. Fu scoperto tra il 1937 ed il 1939 e datato agli inizi del IV secolo d.C.. Ne facevano parte due serie parallele di otto ruote ciascuna, tutte alimentate dall'alto, tramite due canali derivati dall'acquedotto di Arles. Ciascuna ruota aveva il diametro di circa 3 m, maggiore quindi di quella di Venafro, e comunicava la sua rotazione mediante ingranaggi di legno. Tra le due linee di edifici gradinati che ospitavano le ruote correva una scala centrale di servizio. Un apposito carrello consentiva la movimentazione del grano e della farina, per circa 4 tonnellate al giorno, sufficiente per una popolazione di 10.000 abitanti.

7.3.3 *La sega idraulica di Hierapolis e le similari*

A *Hierapolis*, in Frigia, è stata scoperta o, per meglio dire, studiata una singolare stele funebre, dedicata a un certo Marco Aurelio Ammiano, vissuto nel III sec. d.C., forse un imprenditore titolare di una segheria di marmi. Di certo sul monumento sta riprodotta una ruota idraulica, la quale aziona due seghe a lame multiple che stanno tagliando due blocchi di marmo in sottili lastre. Che siffatte macchine fossero conosciute fra il II ed il IV secolo si supponeva, sia pure in maniera nebulosa, da un brano della poesia sulla *Mosella*[65] di Ausonio Stazio che così recitava:

"Facendo girare le macine dei cereali con giro veloce e tirando / le seghe dentate attraverso le pietre levigate, / ascolta i perpetui rumori dall'una e dall'altra riva."[A28]

Esplicito il riferimento alle macine dei mulini ed allo stridio incessante delle seghe per marmi[66], entrambe azionate dalle ruote idrauliche lungo la Mosella. Quanto a stabilirne con esattezza le caratteristiche fino alla stele di *Hierapolis* sembrava per lo meno azzardato, del tutto chiaro dopo. La macchina in questione, infatti, era composta da una grande ruota idraulica, sostanzialmente simile a quella di Venafro, posta in rotazione da una caduta di acqua, proveniente da una apposita canalizzazione. Sull'albero della ruota, all'estremità opposta, sta collocata una seconda ruota, molto più piccola, a denti di legno che va ad ingranare in quello che sembrerebbe un rocchetto, o lanterna, al quale sono collegati due regoli di legno snodati, che terminano nei telai delle seghe.

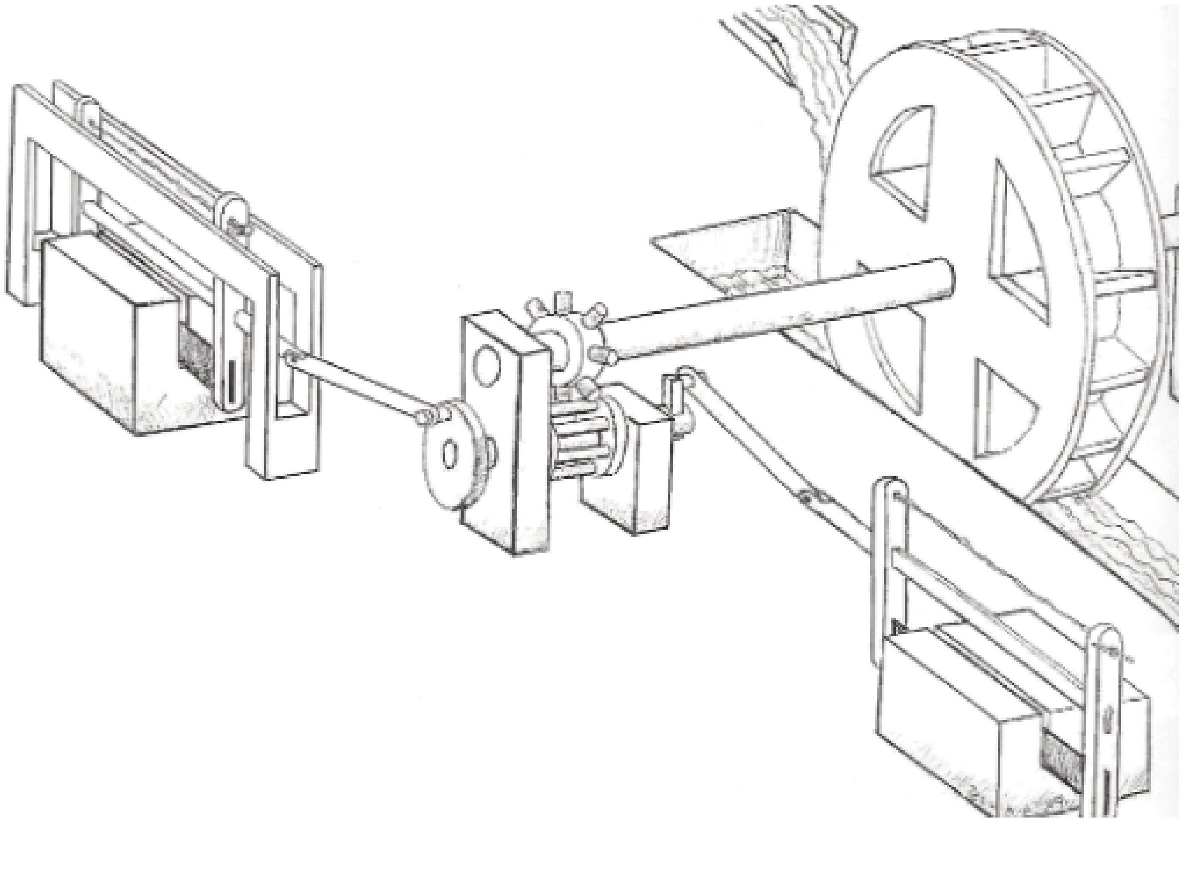
Trattandosi di un bassorilievo, che per quanto fedele per ovvie ragioni è pur sempre schematico, si deve immaginare che l'albero della lanterna sporgesse da entrambi i lati dei supporti e recasse alle estremità due dischi con eccentrici. Questi, simili alle leve a disco, come nelle macine a mano o nelle pompe delle navi di Nemi, muovevano i due regoli alternativamente: in pratica due manovelle collegate a due bielle, che provocavano il va e vieni delle due seghe. Queste, a loro volta, sembrano del tipo a telaio con tenditore a corda ritorta e listello di bloccaggio, di notevole larghezza, forse di 2 o 3 m, con più lame parallele in basso. Il peso delle seghe doveva risultare sufficiente a farle abbassare, sebbene non si possa escludere l'uso di adeguati pesi per fornire la giusta pressione alle lame, rese taglienti da sabbia quarzifera immessa con acqua.[67]

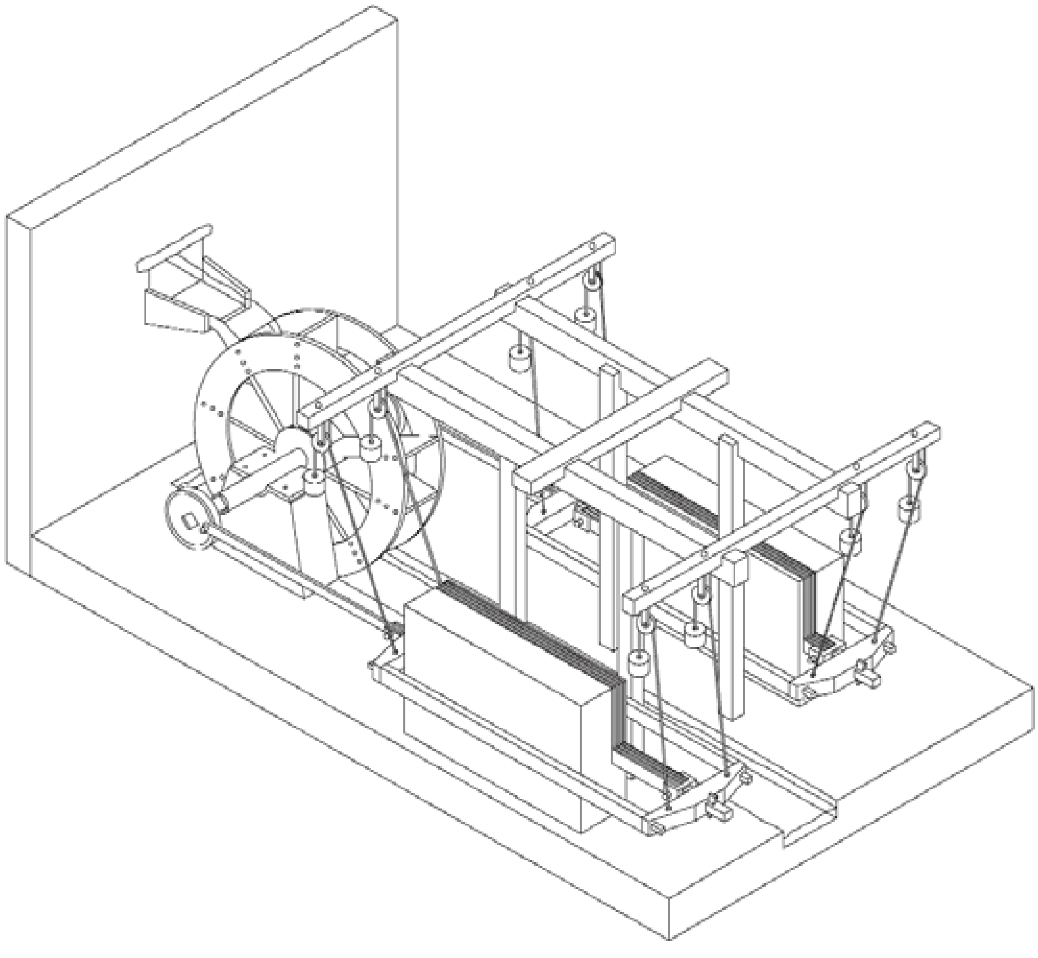
65 Il brano è tratto dalla *Mosella* di Decimo Magno Ausonio, vissuto fra il 310 ed il 395, poeta latino cristiano, già prefetto della Gallia e poi console nel 379. Il poema *Mosella* è considerato il suo capolavoro.
A28 Testo originale Allegato 28, in Allegati.
66 Ovviamente il funzionamento ininterrotto non è riferito al lavoro di molitura, che richiedeva la presenza costante dell'uomo per verificare il corretto funzionamento delle macine e provvedere alla ricarica del grano nella tramoggia. Le seghe per il marmo, invece, lavorando con comprensibile lentezza ed in maniera costante, non avevano alcuna necessità di controllo assiduo per lunghi intervalli, divenendo perciò le prime macchine utensili della storia idonee a cicli h 24.

67 Cfr. K. GREWE, P. KESSENER, *A stone relief of a water-powered stone saw at Hierapolis, Phrygia. A first consideration and reconstruction attempt*, in *Energie hidraulique et machines élévatrices d'eau durant l'antiquité*, Napoli 2007, pp. 227-34.

Dall'alto: *Resti di impianti di segheria ad Ephesos ed Gerasa.*

Bassorilievo di Hierapolis, dal sarcofago di M. Aurelio Ammiano. Ben evidente la rappresentazione di una sega idraulica la cui ricostruzione grafica è riproposta sotto.





Di altre due segherie per marmi, rispettivamente una a Efeso[68] e l'altra a Gerasa[69], sono stati identificati il locale delle macchine e le tracce delle stesse, nonché nella prima la coppia di blocchi in corso di taglio, che ci consente perciò un più puntuale riscontro. L'impianto appare più evoluto del precedente, sebbene sia sempre costituito da due telai a più lame azionati da un'unica ruota idraulica. I telai diversamente dai precedenti sono montati orizzontalmente, soluzione che permette di sfruttare per intera la discesa delle lame fin quasi al pavimento, e di collocare inoltre dei pesi di trazione in maniera più razionale. I blocchi in lavorazione sono di circa 3 m di lunghezza, per 1-1.2 di altezza e 0.5-0.6 di larghezza, mentre le lastre sono dello spessore di circa 3.5-4.5 cm e le lame di rame o di bronzo e senza denti di circa 5-10 mm di spessore, quattro a telaio.

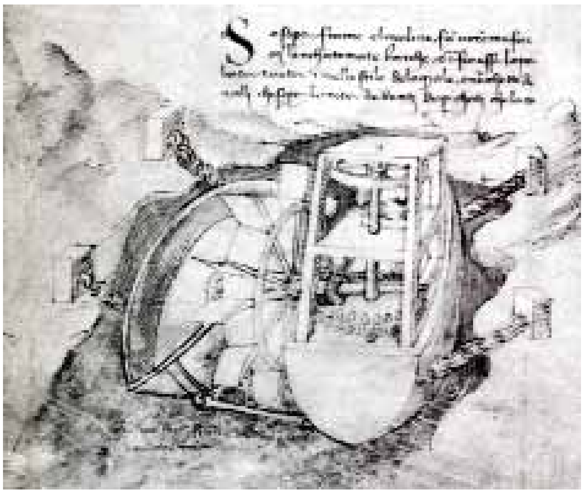
68 Cfr. F. MANGARTZ, *The byzantine hydraulic stone cutting machine of ephesos (Turkey). A preliminary report,* in *Energie Hydraulique...,* cit., pp. 235-242.
69 Cfr. J. SEIGNE, T. MORIN, *Une scierie hydraulique du VIᵉ siècle a Gerasa (Jerash, Jordanie). Remarques sur les prémices de la mécanisation du travail,* in *Energie...,* cit. pp. 243-257.

7. 4 Il mulino galleggiante

Forse fu proprio la necessità di contenere i costi del lavoro e dei trasporti, che portò alla realizzazione di un singolare mulino idraulico, la cui esistenza è testimoniata, di lì a breve, lungo il Tevere a Roma: il mulino galleggiante. Secondo la tradizione il primo mulino del genere fu costruito nel 537: il re ostrogoto Vitige che stringeva d'assedio la città aveva tagliato tutti i suoi 14 acquedotti, fra i quali quello di Traiano che alimentava anche i vari mulini del Gianicolo, costringendo perciò Belisario, preposto alla sua difesa, ad escogitare una soluzione alternativa. Questa consistette, stando al racconto di Procopio da Cesarea suo aiutante, nella costruzione, appunto, di alcuni mulini galleggianti. In breve affiancò due barche, che trattenne ormeggiate saldamente ad un ponte nei pressi dell'Isola Tiberina, e pose fra i loro scafi la ruota a pale collegandone l'asse alle macine. La corrente la poneva in rotazione, esattamente come nei tradizionali mulini fissi. Così il racconto di Procopio da Cesarea[70]:

70 PROCOPIO da CESAREA, *De bello Gotico,* lib. I, 19.

"E poiché, incisi come ho detto, gli acquedotti, l'acqua non girava le macine, né ciò poteva accadere per opera dei giumenti, sfiniti per la totale mancanza di cibo, come avviene in un assedio, ai Romani, i quali a stento avevano di che sostentare i cavalli a loro necessari, Belisario escogitò quest'artifizio. Attaccate delle funi davanti al ponte, che dicevo poco fa collegato alle mura, e tese molto fortemente dall'una e dall'altra riva del fiume, legò barche a due a due, lasciando uno spazio di due piedi, per dove l'acqua scorreva con maggiore impeto dall'arco del ponte. Allora, poste due macine su entrambe le barche, sospese nel mezzo una macchina con la quale le macine sono di solito fatte girare. Senza interruzione legò altre barche a sostegno di quelle che erano dietro, e nello stesso modo vi mise sopra le macchine: le quali tutte fatte girare in successione dalla forza dell'acqua corrente, mettevano in movimento le macine che vi erano state montate, e macinavano quanto era necessario per la città."[A29]



In alto: *Tela settecentesca che raffigura un antico mulino galleggiante sul Tevere nei pressi di Castel Sant'Angelo. Da notare la rilevante larghezza della ruota.*
Sopra: *Un mulino galleggiante in un codice di Francesco di Giorgio.*

Da quel momento i mulini galleggianti, ovviamente perfezionati, si moltiplicarono lungo tutti i grandi fiumi: il loro maggiore vantaggio stava nell'evitare ai carri carichi di grano di dover percorrere lunghi tragitti, che finivano per incrementare notevolmente il costo della farina. Il mulino galleggiante, infatti, poteva spostarsi, scendendo o risalendo la corrente, e rendersi raggiungibile facilmente con barche, riducendo perciò le distanze e gli oneri del trasporto. Va, inoltre, osservato che per risalire la corrente si usava

A29 Testo originale Allegato 29, in Allegati.

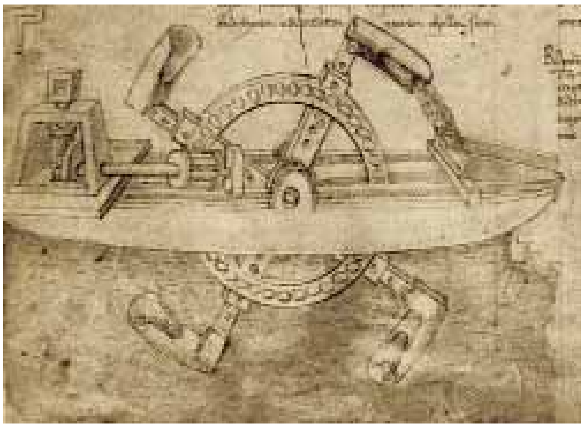
In alto: *Arcaico mulino galleggiante ancora in funzione.*
Sopra: *Illustrazione rinascimentale raffigurante barca che risale la corrente sfruttando una coppia di ruote a pale.*
In basso: *Confronto tra la draga fluviale disegnata da Francesco di Giorgio Martini (a sinistra) e quella di Leonardo da Vinci.*

spesso la stessa ruota del mulino, come motore di trazione. È certamente significativo, infatti, che fra i disegni degli ingegneri medievali, si ritrovi abbastanza spesso una barca munita di ruota a pale, utilizzata per alare una fune in modo da poter risalire la corrente grazie alla stessa. Ed in misura persino maggiore, ci sono giunte anche immagini di mulini galleggianti, di varie fogge e tipologie, senza dubbio i più interessati a quella procedura.

La connotazione essenziale di un mulino galleggiante consiste in uno scafo munito di una ruota a pale: fissato il galleggiante alla sponda con funi o catene, la ruota sempre parzialmente immersa è fatta girare dalla corrente. Tuttavia per effetto dell'asimmetria della resistenza idrodinamica, un mulino siffatto tende a girare su stesso, fino a neutralizzare la spinta, obbligando perciò ad ancoraggi multipli. Per evitare quell'inutile sollecitazione, presto si optò per due scafi adiacenti e solidali, montando fra loro la ruota: una specie di catamarano, con un unico ponte destinato alle macine, in pratica un ritorno all'archetipo di Belisario! Una idea di tale impianto la si può ricavare dalla draga disegnata da Francesco di Giorgio e ripetuta da Leonardo.

Come innanzi evidenziato, il rendimento di una ruota trascinata dal basso risulta sensibilmente inferiore della stessa alimentata dall'alto. Per contro, però, la deficienza era compensata dal non dovere sopportare sull'asse oltre al peso della ruota anche quello dell'acqua, per cui era possibile costruirne di molto più larghe. Il che consentiva non solo di compensare la carenza ma di ottenere potenze di gran lunga maggiori.

A titolo di raffronto, una ruota di 3 m di diametro ma larga 1.5 m – dimensione compatibile con lo spazio fra i due scafi, e installazione concettualmente identica a quella dei battelli a ruote fluviali – forniva il doppio della potenza di una dello stesso diametro, ma larga soltanto m 0.3, alimentata per caduta.



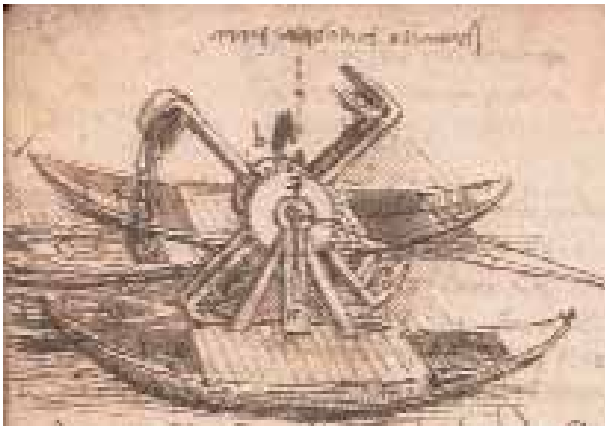


Illustrazione del codice De Rebus Bellicis*, raffigurante una liburna con propulsione a ruote a trazione animale, IV sec. d.C..*

I mulini galleggianti, confermatisi rispondenti alle aspettative, si diffusero in breve tempo, restando da allora in funzione fino ai nostri giorni. A tale tipologia, ad esempio, apparteneva il famoso *Mulino del Po,* del romanzo di Riccardo Bacchelli.

7.4.1 Il battello a ruote

È facile constatare che il criterio informatore del battello a ruote, prima ancora che nel mulino galleggiante, traspare nell'odometro navale di Vitruvio, già delineato in precedenza. Quanto al battello, al di là del suo effettivo funzionamento che vide forse dei prototipi archetipali, interessa la sua connotazione formale: uno scafo con ai fianchi due ruote a pale contrapposte, fatte girare durante la navigazione. Che girando delle ruote siffatte si potesse produrre l'avanzamento di una nave fu senza dubbio un'acquisizione tecnologica rilevante, ma forse provenne dall'osservare che nelle acque morte di una gora i mugnai, girando con delle leve la ruota dei loro mulini galleggianti, riuscissero a spostarli lentamente.

Di certo, quale che ne sia stato lo stimolo inventivo, i primi progetti di un battello a ruote devono collocarsi intorno al III-IV secolo d.C., verificati probabilmente come alcune incerte fonti inducono a credere, da qualche costruzione sperimentale. Di uno dei progetti, fra i più dettagliati, ci è pervenuto il disegno, quasi un prospetto laterale, insieme alla minuziosa descrizione, redatti dall'autore anonimo di un piccolo trattato militare, il *De Rebus Bellicis*. E, particolare persino più importante, per la prima volta nella storia della tecnologia compare un veicolo semovente con l'esatta indicazione del suo apparato motore. Si tratta di una liburna a ruote, per l'esattezza tre coppie, poste in rotazione da tre alberi verticali, ciascuno azionato da una pariglia di buoi. Dal punto di vista cinematico è indubbia la derivazione dalle batterie di macine asinarie, come quelle ritrovate nei panifici di Pompei. Così la sua descrizione:[71]

"La forza animale, sostenuta dall'azione di un congegno, muove con facilità, dovunque sia necessario, la liburna, adatta alle guerre navali, ma che per le sue grandi dimensioni a causa, per dir così, della debolezza umana, non avrebbe potuto esser governata dalle mani dell'equipaggio. Nel suo scafo o stiva, coppie di buoi attaccati alle macchine, fanno girare le ruote applicate alle fiancate della nave; raggi sporgenti sopra il cerchione o convessità delle ruote, per il movimento di queste ultime fendono l'acqua vigorosamente, come remi: operano con un effetto mirabile e ingegnoso e il loro impeto produce il movimento.

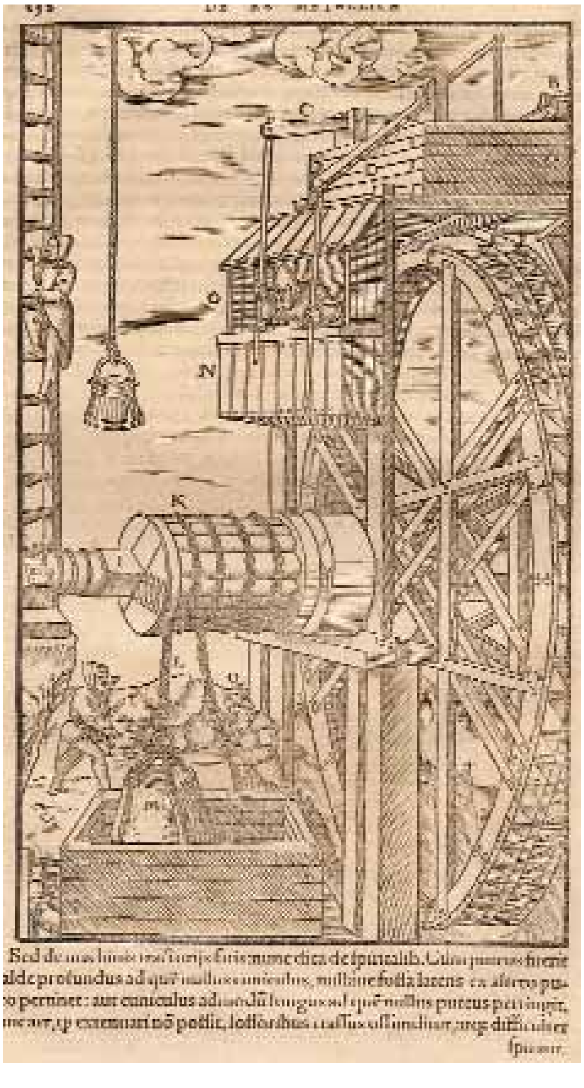
Questa liburna, per la sua imponenza e per le macchine che vi operano dentro, affronta la battaglia con tanto fremito di forze da fare a pezzi, con facile attrito, tutte le liburne nemiche che le si accostino."[A30]

71 Da ANONIMO, *De Rebus Bellicis. Expositio liburnae,* in *Le cose della guerra,* a cura di A. GIARDINA, Milano 1989, p. 30.
A30 Testo originale Allegato 30, in Allegati.

Non sappiamo se da tale progetto in seguito scaturì qualche applicazione concreta, magari di grandezza ridotta. L'ipotesi, sebbene non vi sia alcuna menzione nelle fonti scritte e iconiche, appare plausibile non fosse altro per la persistenza anomala dell'idea. Dissoltosi l'Impero, infatti, il battello a ruote mosso da animali, riaffiorò nel Medioevo ricomparendo sistematicamente fra le elucubrazioni di ogni tecnico rinascimentale, fino a quando non trovò effettiva realizzazione, sul finire del '700, nel nuovo mondo ad opera di Fulton.

8. Osservazioni meccaniche

Paradossalmente la ruota ad asse orizzontale, alimentata dall'alto o dal basso, dal punto di vista meccanico costituì, comunque, un vistoso arretramento tecnologico, rispetto alla più arcaica a pale oblique ed alle retricine. Ma, essendo l'unica macchina di indubbia semplicità costruttiva in grado di erogare ragguardevoli potenze, attraversò l'età antica, giungendo quasi immutata ai nostri giorni: la si ritrova, infatti, nella turbina *Pelton*. La ruota a pale ebbe, però, la sua apoteosi nel Medioevo, allorquando fu adottata in ogni ambito produttivo.



Agricola, montacarichi minerario a ruota idraulica.

Ruote a pale, o a cassette, azionavano le pompe per il drenaggio delle miniere, trascinavano le grandi norie per il sollevamento dell'acqua, azionavano i montacarichi dei pozzi, le seghe che tagliavano i grandi tronchi di legno, i magli sulle incudini. Altre ruote ancora movimentavano i mantici dei crogioli: si ha conoscenza di tali impianti, meglio definiti soffierie idrauliche, intorno al XV secolo, grazie ai taccuini di molti ingegneri italiani. Proprio in virtù della massiccia immissione di aria compressa così garantita, quei forni fusori determinarono un vistoso miglioramento dei prodotti siderurgici, supportando quella che, non a caso, è definita l'età del ferro.

9. Le mine idrauliche

9.1 Ruina Montium: il fenomeno naturale

Anche in questo caso la testimonianza di Plinio il Vecchio sulle mine idrauliche usate in Spagna nelle miniere d'oro, fu ritenuta una sua ennesima panzanata: occorreranno quasi due millenni per verificarne la piena veridicità. La domanda a questo punto diviene un'altra: come fecero i Romani ad elaborare un procedimento tanto grandioso ed oneroso? Da quale premessa lo dedussero?

Un procedimento tecnico complesso, che all'improvviso debutta nella storia, è per lo più la riproduzione di un fenomeno naturale. E dobbiamo necessariamente ritenere questa, l'origine del *Ruina Montium*, il sistema di coltivazione mineraria ad abbattimento progressivo d'intere e cospicue fette di colline mediante la forza dell'acqua. Quanto al fenomeno ispiratore di quelle che, nel secolo scorso, saranno definite *mine idrauliche*, sta nel collasso di pendici montane provocato dal carsismo, con esempi non rari, dei quali uno almeno molto recente e documentato.

Il 1922 viene ricordato da quasi tutte le cronache nazionali ed internazionali, come un anno singolarmente piovoso, in particolare nel corso dell'autunno tra la fine di ottobre e gli inizi di novembre. Fra le cause una profonda depressione, di cui si trova pieno riscontro nelle rilevazioni, stabilizzatasi a lungo, in

modo quasi permanente, sull'Europa centro meridionale. Enormi masse d'acqua si scaricarono pertanto sull'intera Penisola, in particolare sui suoi maggiori sistemi montuosi, che si frapponevano all'avanzamento dei fronti atlantici. Passaggi di notevole intensità si susseguirono in quell'ottobre nei giorni 9, 12 e 18 per intensificarsi ulteriormente nei giorni 22, 25, 26, 28 e 30 saldandosi quasi in un unico evento catastrofico. La situazione peggiorò ancora, se possibile, nei primi di novembre per cessare finalmente intorno alla sua metà quando, però, complice già il notevole abbassamento di temperatura determinato dalle piogge, sopraggiunse il freddo invernale con notevole anticipo. Diverse aeree poterono essere seminate solo in dicembre, con conseguenti tragiche decurtazioni dei raccolti.

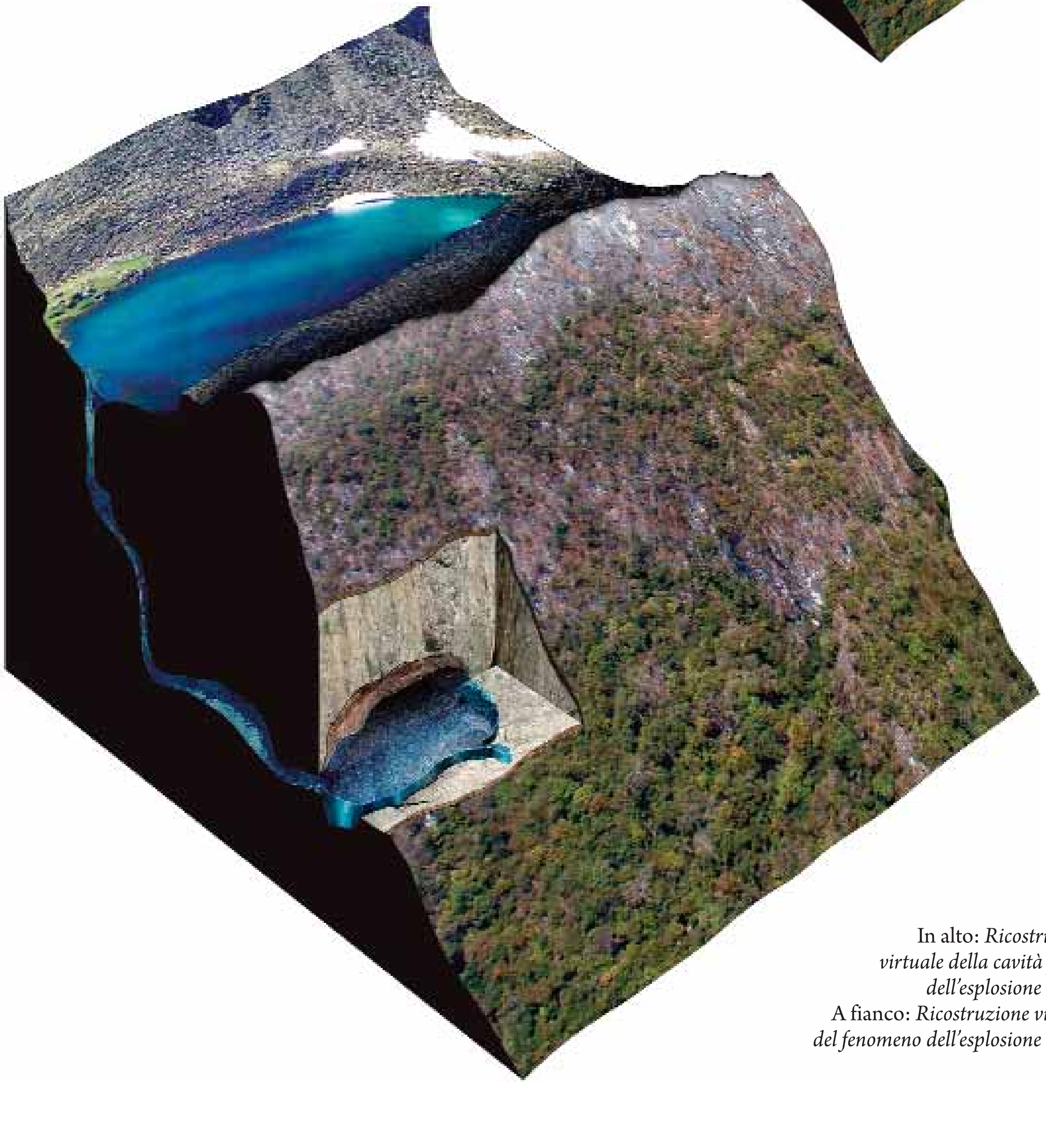
Nel primo pomeriggio del 4 novembre del 1922 un boato più assordante che fulmineo rimbombò nella vallata di Cusano Mutri, alle pendici meridionali del Massiccio del Matese. Alla quota di circa 700 m la falda di monte Erbano, di solida roccia calcarea a strati di grossa potenza, era stata frantumata e scagliata in aria, ricadendo su se stessa, in modo da formare una sorta di conoide di deiezione costituito non da fanghi ma da macigni, fino alla quota di 675, con

In alto: *L'abitato di Cusano Mutri visto dalla pendice esplosa di monte Erbano.*
Sopra: *La grandiosa cascata di macigni provocata dalla esplosione idrica di monte Erbano.*

un fronte di una ottantina di metri. Circa lo spessore verticale della parete esplosa si attestava sui quindici metri, dando all'insieme il connotato di una gigantesca unghiata, capace di sbriciolare ed asportare circa 30.000 tonnellate di roccia. Tra quella cascata di macigni, per diversi giorni l'acqua continuò a defluire abbondante e violenta, fuoriuscente da una

sorta di bocca, la cui sezione non superava un m², presente proprio alla base della cuspide della tagliata. Senza dubbio era stata proprio l'acqua a produrre l'esplosione, lasciando facilmente immaginare quale immane pressione avesse dovuto possedere per realizzare tanto disastro.

In realtà, come già da secoli aveva dimostrato Pascal col suo plateale esperimento della *botte,* di pressione ne bastava relativamente poca, a patto che vi fosse all'interno della montagna una cavità di discreta grandezza e, ovviamente, una sufficiente quantità d'acqua con lieve dislivello, per riempirla completamente. Il che, rendendo quel singolare fenomeno carsico affine al *Ruina Montium*, ne svelava il criterio informatore: da uno analogo, perciò, remoti minatori avevano quasi certamente tratto lo spunto, che poi gli ingegneri romani della *Legio VII Gemina,* avevano ottimizzato per l'estrazione aurifera.



In alto: *Ricostruzione virtuale della cavità prima dell'esplosione idrica.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale del fenomeno dell'esplosione idrica.*

In alto: *L'impressionante cascata di massi generatasi con l'esplosione idrica di monte Erbano.*
Al centro e sopra: *La bocca idraulica ed il condotto di alimentazione di monte Erbano.*

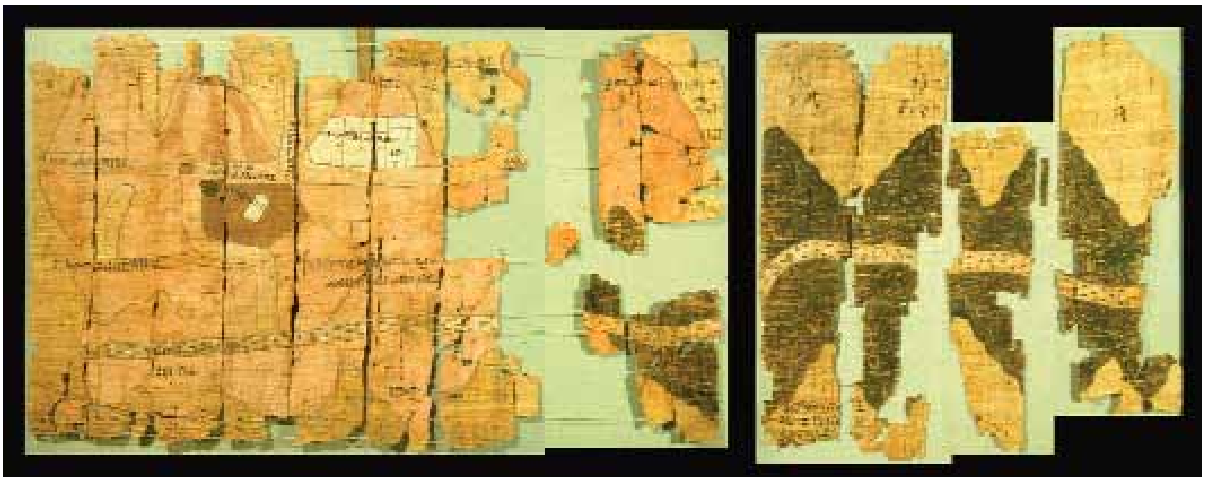
9.1.1 L'estrazione dell'oro nell'antichità e le mine idrauliche romane

Per valutare il vantaggio di tale tecnica, va ricordato che l'estrazione dell'oro dai suoi minerali diventa economicamente conveniente quando la concentrazione del metallo è superiore a 0,5 ppm (0,5 grammi per tonnellata). In pratica bisogna portare alla luce del sole un metro cubo di roccia, di varia durezza e consistenza, tritarla finemente per avere nella migliore delle ipotesi 2.5 g di oro, ovvero un frammento appena più grande della capocchia di un fiammifero! Considerando poi che la roccia occorreva frantumarla a mano, con scalpelli e mazzuole, trascinarla alla base dei pozzi e quindi sollevarla a non più di una trentina di kg per volta, si capisce l'esasperante lentezza di quelle coltivazioni minerarie. Questa la vivida rievocazione lasciataci da Diodoro Siculo:[72]

12 – All'estremità dell'Egitto e nei territori contigui fra Arabia ed Etiopia, c'é una regione dalle numerose e grandi miniere d'oro, dove questo metallo è estratto in notevoli quantità e con molta fatica e spesa. Infatti la terra è per natura scura e contiene giacimenti e vene di marmo bianco, che per brillantezza supera qualsiasi altra cosa brillante per sua natura; è qui che i guardiani delle miniere recuperano l'oro grazie all'opera di molti lavoratori. Infatti i re d'Egitto condannano alle miniere d'oro quanti sono stati condannati per qualche crimine e i prigionieri di guerra, così come quelli accusati ingiustamente e gettati in prigione per collera del re, e oltre a questi, occasionalmente anche tutti i loro parenti; con questo mezzo non solo infliggono una punizione ai criminali, ma si assicurano allo stesso tempo grande entrate per i loro lavori. Quelli condannati a questa pena, numerosi e tutti in catene, lavorano incessantemente di giorno e di notte, non godendo di riposo alcuno e sono privati di ogni mezzo di fuga; infatti li sorvegliano guardie prelevate dai soldati barbari che parlano un linguaggio differente dal loro, cosicché nessuno, con la conversazione o con qualche contatto amichevole, è in grado di corrompere una delle sentinelle.

L'approvvigionamento aureo ottenuto sul terreno più duro l'ottengono bruciando quest'ultimo prima con un fuoco intenso, e, una volta sbriciolato in questo modo, continuano a lavorare con le mani; la roccia soffice che può essere raccolta con sforzo minore è sgretolata con una mazza da miriadi di miserabili

72 Da DIODORO SICULO, *Storia Universale*, lib. III.



Sopra: *Antichissima mappa egizia relativa ad alcune miniere d'oro.*
A fianco: *Macine usate nel deserto egiziano per l'estrazione aurifera.*

sfortunati. L'intera operazione è sorvegliata da un lavoratore abile che distingue la pietra e la porta fuori nei laboratori; fra quelli assegnati a questo lavoro nelle cave, i più resistenti fisicamente rompono le rocce con martelli di ferro, non applicando l'abilità nel lavoro ma solamente la forza; inoltre scavano gallerie nella roccia, non in direzione retta, ma dovunque sembri che la roccia luccicante possa condurre. Ora questi uomini, lavorando nell'oscurità, a causa della strettezza e della forma serpeggiante dei cunicoli, trasportano lampade legate alle teste; per la maggior parte del tempo cambiano la posizione del corpo per seguire il carattere particolare della pietra, e gettano i blocchi a terra, una volta divelti; a queste operazioni lavorano senza interruzione, sotto la severità e i colpi dei guardiani.

13 – I ragazzi che non hanno ancora raggiunto la maturità, entrando nelle gallerie e nei cunicoli formati dalla roccia rimossa, raccolgono laboriosamente le pietre rotte in pezzi, e le portano fuori, nello spazio antistante l'entrata. Poi quelli sotto i trent'anni d'età trasportano queste pietre da loro estratte e con pestelli di ferro ne pestano una determinata quantità in mortai di pietra, finché non l'abbiano lavorate fino alla grandezza di orobo. Poi le donne e gli uomini più anziani ricevono da loro queste piccole pietre deponendole nelle macine, delle quali un grosso numero è lì posto in fila, e presi i posti in gruppi di due o tre alle stanghe di ciascuna macina, macinano le pietre fino alla consistenza della farina più fine, lavorando la quantità loro assegnata. Poiché nessuna opportunità è data loro di preservare il proprio corpo, non avendo abiti con cui coprirsi nessun uomo può guardare gli sfortunati miserabili senza nutrire pietà per loro, a causa della pena eccessiva da loro sofferta. Infatti nessuna clemenza o rispetto è tenuto per nessun malato, invalido, anziano, o per una donna incinta, ma tutti senza eccezione sono costretti dalle fruste a continuare il lavoro fino a che, per il tremendo trattamento, non muoiano nel mezzo delle torture. Per conseguenza i poveri sfortunati credono che, dal momento che la loro punizione è così severa, il futuro sarà per loro più temibile del presente e perciò guardano alla morte

Pittura vascolare di minatori al lavoro in galleria.

come evento più desiderabile della vita stessa.

14 - Alla fine del processo di lavorazione gli artigiani ricevono la pietra ridotta in polvere e ne finiscono il trattamento; infatti setacciano il marmo lavorato su di una larga tavola, molto inclinata, versandovi continuamente dell'acqua; quando la terra formatasi si evidenzia per l'azione dell'acqua che scorre sulla lastra inclinata, ciò che contiene l'oro rimane sul legno per il suo peso. Ripetendo l'operazione per molte volte, prima levigano la pietra con le loro mani, e poi pressandovi leggermente con le spugne rimuovono in questo modo qualsiasi cosa sia porosa o terrosa, finché non rimanga solo la polvere d'oro. Poi all'ultimo un altro artigiano prende ciò che è stato recuperato e lo colloca in una misura fissata in giare di terracotta, mescolando una quantità di piombo proporzionata alla massa, grani di sale e un poco di stagno, aggiungendo infine crusca; sopra viene posto un coperchio ben aderente, chiuso attentamente con fango; poi la cuociono in una fornace per cinque giorni e cinque notti continue, e, alla fine di questo periodo, lasciate le giare al fresco, non trovano più alcuna traccia di quel tipo di contenuto, ma solo l'oro nella forma pura, anche se un poco si è consumato.

Al di là della ottusa spietatezza del lavoro coatto, era evidente la sua infima produttività, dettaglio che alla mente razionale dei Romani dovette subito suggerire la trasformazione di un'attività in galleria in una a cielo aperto. Occorreva far crollare la montagna aurifera sotto il suo stesso peso, ovvero farla implodere, utilizzando magari dei rischiosissimi espedienti della guerra ossidionale: le mine ovviamente non esplosive. Così la descrizione di Plinio il Vecchio in materia[73], buon testimone in quanto pretore nella Spagna, regione mineraria per antonomasia, intorno alla metà del I secolo:

70 - La terza via e modo vincerebbe l'opera dei Giganti; perciocché cavano i monti procedendo per grande spazio a lume di lucerne. Quivi tanto si veglia e tanto si riposa, e per molti mesi non si vede giorno. Queste escavazioni si chiamano arrugie; i cui cunicoli spesso crollano istantaneamente seppellendo i minatori al punto da sembrare meno rischioso pescare le perle in fondo al mare, tanto abbiamo reso più pericolosa la terra. Vi lasciano perciò degli spessi pilastri per sostenere la roccia sovrastante. Vi si trovano in entrambi i modi delle formazioni silicee, che vengono fratturate con il fuoco o con l'aceto.

Spesso però dato che il fumo e le esalazioni soffocherebbero in quei cunicoli i minatori, quelle formazioni vengono rotte con i martelli di ferro da 150 libre circa [45 kg] *e ne portano i frammenti sulle spalle il giorno e la notte, dandole fra le tenebre l'uno all'altro di mano in mano; e solamente gli ultimi vedono la luce. E se la formazione appare eccessivamente lunga, la rompono dai lati e seguono a scavarvi intorno.*

71 - Tuttavia, lo scavo in tali rocce è reputato più facile. Vi è, infatti, una sorta di terra del tipo dell'argilla, mista a ghiaia (chiamata candida) quasi inespugnabile. Questa viene attaccata con cunei di ferro e con gli stessi martelli, nulla è reputato più duro, se non che fra tutte è durissima la fame dell'oro. Esaurite le opere, si iniziano a demolire i pilastri partendo dall'ultimo. Il segnale del crollo imminente è dato dal solo che è in grado di valutarlo dalla cima del monte. Con la voce o con rumori ordina ai minatori di abbandonare subito le gallerie ed anche lui si allontana velocemente. La montagna lesionata crolla sotto il suo stesso peso con un boato ed uno spostamento d'aria che nessuna mente umana può immaginare. I minatori a quel punto stanno a contemplare il crollo della natura come spettatori. Nonostante ciò ancora non vi è l'oro, né sapevano che ve ne fosse quando scavavano. Nell'affrontare quei tanti pericoli bastava la sola speranza di ciò che desideravano.[A31]

La soluzione ideale, però, sarebbe stata quella di mine esplosive e la pressione dell'acqua forniva

73 Da PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. XXXIII, 21, 70-71.
A31 Testo originale Allegato 31, in Allegati.

questa potenzialità, trasformando il suo accorto impiego in quelle che sono state definite *mine idrauliche*. L'altipiano di Las Medulas in Spagna con la sua natura geologica di conglomerato, si mostrò ideale per quella modalità. Da un lato, infatti, la percentuale di oro risultava vistosamente più bassa di quella ricordata, frustrando ogni ipotesi di lavoro in galleria, dall'altro la relativa saldezza della roccia avrebbe esaltato gli esiti delle mine idrauliche. Occorreva soltanto condurre nella quantità necessaria ed alla altezza utile le grandi quantità di acqua necessarie. E sempre Plinio[74] ci da una precisa descrizione di quella tecnica, fornendo così una puntuale spiegazione dell'origine del paesaggio lunare di Las Medulas. Queste le sue parole al riguardo:

"*C'è un'altra fatica pari a questa, e di maggiore spesa ancora, perché per ottenere questa rovina delle montagne, occorre che vi conducano fiumi dagli alti gioghi, e spesse volte cento miglia di lontano.*

Questi si chiamano corrughi credo dalla lor corrivazione, e certo che questa è gran fatica. Bisogna

Sopra ed in basso: *Panoramiche dell'altipiano di Las Medulas, eroso profondamente dalle mine idrauliche.*

74 Da PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. XXXIII, 21.

bene comprendere il peso della caduta, acciocché possa portar via le materie tra cui scorre, e però si fa derivare da altissimi luoghi.

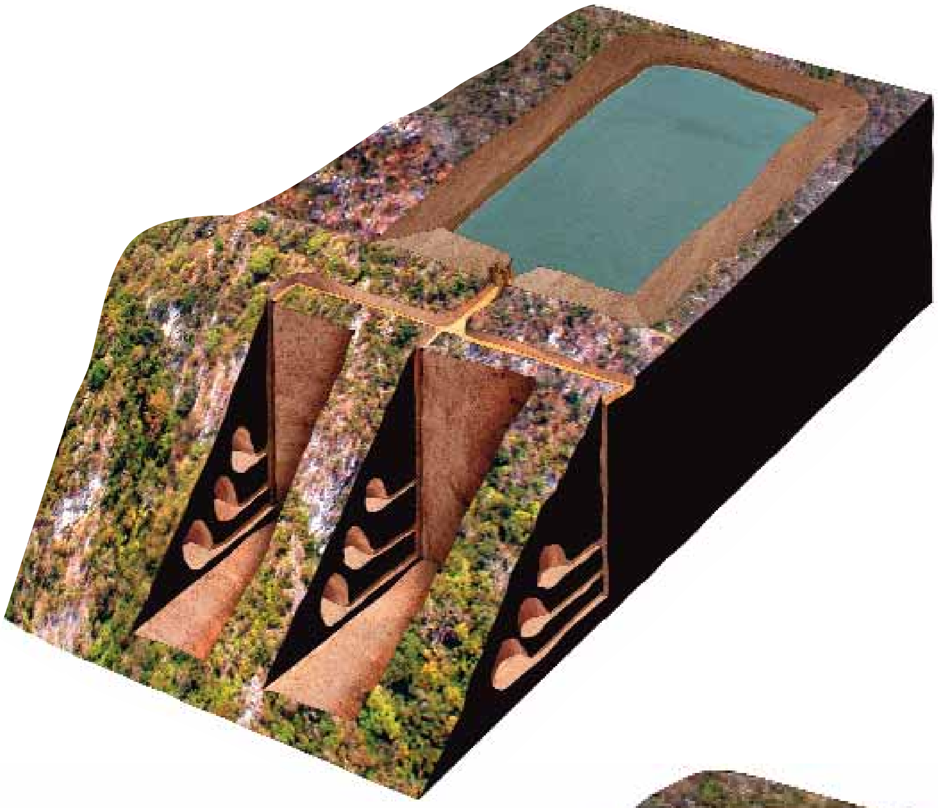
Se vi sono vallate o intervalli, li uniscono con canali che vi scavano. In qualche luogo forza è tagliar le pendici, dove fanno passare i canali. Coloro che tagliano, vi stanno sospesi legati con le funi, sicché chi di lontano li vede, stima che sieno non già qualche fiera, ma specie d'uccelli. Questi per la maggior parte stando sospesi pigliano le misure e tracciano le linee al cammino; epperò l'uomo non ha sotto di sé luogo da collocarvi il piede.Con le mani traggono a sé la terra per giudicare s'ella sia molle, o soda a sostenere le travi. Questa specie di terra si chiama urio. Si conducono adunque per pietre e ghiaia, e fuggono lo urio. Ne'principi delle cascate fanno enormi cisterne sul ciglio dei monti, dugento piedi per ogni verso [m 60x60] *e dieci a fondo* [m 3 per una cubatura complessiva pari a circa mc 11.000]. *Lasciano in queste cinque scarichi di circa tre piedi quadrati e quando poi sturano il lago già pieno, l'acqua esce con tanta violenza da asportare ogni sasso... Per queste cagioni la Spagna ha fatto gran profitto.*"**A32**

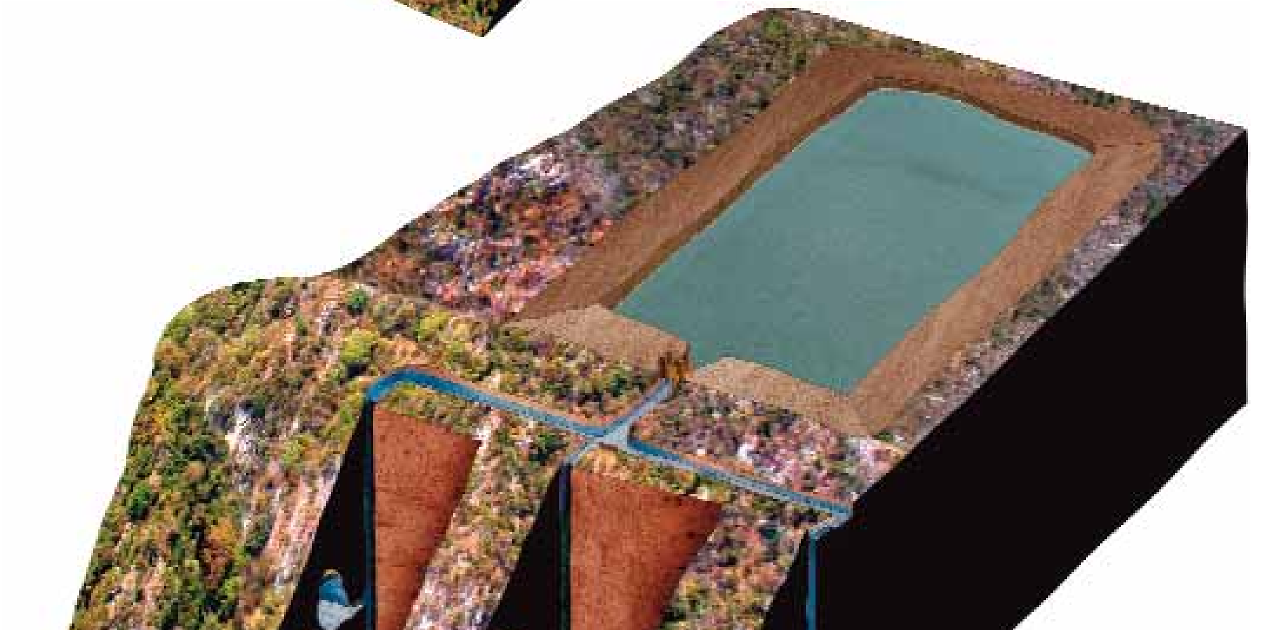
Iniziano a comparire le canalizzazioni di alimentazione dell'acqua che, stando a Plinio, si originavano anche ad oltre un cento miglia di distanza. Le ragioni sono quelle dette, con in più la difficoltà del reperimento dell'acqua nella zona mineraria di per sé sterile ed arida. Plinio accennando al peso della caduta, introduce in maniera impropria, ma non per questo errata, il concetto di pressione dell'acqua. In altri termini, per essere sicuri dell'esplosione occorreva valutare lo spessore della roccia che bisognava lasciare e la pressione che l'acqua avrebbe dovuto avere, quindi il dislivello ottimale, e soltanto dopo procedere alle canalizzazioni adduttive in modo da formare i bacini in quota Il tracciato è attentamente studiato e corre per ovvie ragioni sui fianchi delle montagne che essendo in prossimità della loro sommità sono molto più ripide delle pendici, per cui il lavoro delle squadre può procedere solo con gli uomini imbracati. Si tracciano così le direttrici da seguire con le debite pendenze, e si preparano i siti al tracciato.

In realtà, la spiegazione data da Plinio è tipicamente romana, ovvero molto approssimata. L'aspetto più vistoso è certamente il più attendibile: impossibile del resto non vedere quegli enormi bacini superiori di circa 11.000 mc, alimentati da quella rete di canali di notevolissima lunghezza. Ma quando si aprivano i loro scarichi, l'acqua dove andava? Certamente non lungo le pendici del monte, dove per violenta che fosse non avrebbe procurato grandi detriti. Né finiva scaricata in canalizzazioni aperte, che in tal caso nel giro di poche ore tutto sarebbe tornato come prima. Andava, invece, nelle gallerie in precedenza scavate, come nella prima maniera, tutte conducenti verso il fianco della montagna, ma prive di sbocco. Gallerie a fondo cieco, che terminavano in una sorta di camera di accumulo, equivalente idraulico della camera di scoppio delle mine. La suddetta camera, che poteva anche essere una galleria corrente parallela al fianco della montagna, ma interna ad essa di una decina di metri, con l'apertura degli scarichi si riempiva d'acqua assumendo rapidamente la pressione pari a quella del dislivello. L'aria che non poteva più sfogare, si comprimeva a sua volta e quando sulla parete interna della camera la pressione attingeva il valore appena superiore a quello di resistenza della roccia, questa si spaccava violentemente ed istantaneamente, privando la pendice sovrastante del suo sostegno. Il peso della stessa ne determinava, a quel punto, il crollo che per l'infima resistenza alla trazione della roccia, coincide con la verticale, dando perciò alla tagliata una connotazione perpendicolare facilmente riconoscibile. Persino maggiore, in questo caso, il boato e lo spostamento d'aria già evidenziato da Plinio, poiché con il crollo l'aria compressa, chiusa nella cavità, si

In alto: *Resti dei bacini montani.*
Sopra: *Resti di canalizzazioni di adduzione.*

A32 Testo originale Allegato 32, in Allegati.





In alto: *Ricostruzione virtuale del sistema di cunicoli predisposti per il* Ruina Montium, *prima dell'apertura degli scarichi idrici.*
A fianco: *Il sistema del* Ruina Montium *pochi istanti prima dell'esplosione della parete della montagna per la pressione dell'acqua al suo interno.*

Las Medulas: ciò che resta dopo l'esplosione idrica provocata dalla tecnica del Ruina Montium.

espandeva istantaneamente all'esterno, sommandosi così allo spostamento d'aria provocato dal collasso della massa rocciosa.

Dal momento che soltanto una modesta frazione dei circa 11.000 mc di acqua accumulata serviva per produrre l'implosione, la gran parte restante, squarciatosi il fianco della montagna, defluiva con estrema violenza dalle gallerie di carico, ormai comunicanti con l'esterno, trascinando nella sua impetuosa corsa tutti i frammenti di roccia spezzati dal crollo. Questi, sbattendo lungo le loro pareti le erodevano ulteriormente, slargandole e portando a valle una massa di roccia triturata di gran lunga maggiore di quella esplosa. Si accumulava così, nel giro di pochi minuti, l'equivalente estrattivo di diverse decine d'anni di lavoro, limitandosi a quel punto l'attività mineraria alla macinazione e alla selezione.

9.1.2 Precisazioni tecniche

Volendo in qualche modo schematizzare il funzionamento, non ci si può non rifare alla botte di Pascal: i minatori scavavano diversi angustissimi cunicoli convergenti in un solo punto, dove scavavano ancora una grande cavità. La caratteristica di quest'ultima era che una delle sue pareti più lunghe fosse abbastanza vicina alla superficie esterna della montagna, una decina di metri al massimo ed a discreta quota dal suo piede. Terminati i lavori, nel corso dei quali comunque veniva recuperato il minerale estratto, si procedeva all'apertura degli scarichi del grande bacino superiore, già fatto riempire dalla rete di alimentazione idrica, realizzata in precedenza e destinata ad essere usata per molte volte ancora, per altre volate.

I canali, che ostentavano una sezione media compresa fra uno o due m^2, con andamento a lieve pendenza, simili in sostanza sebbene molto più grezzi agli acquedotti, con alcuni tratti in gallerie e su ponti, correvano sui fianchi delle montagne limitrofe, a volte anche per centinaia di chilometri. Aperti gli scarichi l'acqua si precipitava nelle cavità che subito si riempivano, ed una volta piene assumeva in ogni suo punto la stessa pressione, pari al dislivello tra la quota d'immissione dei canali e quella della cavità. Ora volendo esemplificare, se questo dislivello fosse stato di appena 10 m, su ogni cm^2 della superficie della cavità si sarebbe manifestata una pressione di 1kg, pari a 10 t per m^2. Considerando per comodità di calcolo una cavità cubica di 10 m di lato, pari ad una superficie di m^2 600, la spinta complessiva sarebbe stata di 6.000 t, entità più che sufficiente a far saltare in aria vari metri di roccia. Grossi conci di pietra, spessi quanto gli strati, sarebbero perciò schizzati come altrettanti tappi, privando l'intera formazione della sua stabilità e provocandone perciò il crollo, non diversamente da quanto ottenuto con una mina esplosiva.

Vi è un celebre schizzo di Leonardo da Vinci, interpretato come una raffigurazione del diluvio, che rappresenta proprio quest'istante terrificante dello scatenarsi della forza della natura con l'acqua che fa volare la roccia: va osservato che Plinio rientrava tra i libri di lettura di Leonardo e che la Spagna fu da lui abbastanza conosciuta.

Disegno di Leonardo, codice Windsor, RL 12380, Studio del diluvio. *In realtà si tratta di una esplosione idrica, come dimostrano i grossi conci fatti saltare in aria dall'acqua.*

Copyright Edizioni Scientifiche e Artistiche - Riservato

Parte Terza

ARIA

Stato Aeriforme

Militaria mirabilia

Il ponte di circostanza di Senofonte sul Tigri

"Tornati all'accampamento, i soldati si presero cura dei viveri, mentre generali e comandanti tennero una riunione.

Si trovavano in una situazione senza sbocco: da una parte avevano montagne altissime, dall'altra il fiume, la cui profondità era tale che quando cercavano di saggiarla le aste neppure emergevano.

Erano in questa condizione di smarrimento quando volle prendere la parola un tale di Rodi: 'O signori, io posso farvi passare il fiume, quattromila opliti per volta: basta che mi forniate quel che vi chiederò, oltre a un talento come compenso'.

Richiesto di che cosa avesse bisogno, rispose: 'Mi servono duemila otri.

Vedo che da queste parti ci sono molte pecore e capre e buoi e asini. Una volta scuoiati, basterà gonfiare le pelli per consentire un facile passaggio all'esercito.

Poi mi serviranno le corregge che usate per le bestie da soma: con esse terrò stretti gli otri uno all'altro e ormeggerò ciascun otre appendendoci una pietra come se fosse un'ancora.

Quindi taglierò il fiume con la fila degli otri, che legherò a entrambe le sponde.

Infine vi getterò su della sterpaglia e, al di sopra del terriccio. Vi accorgerete subito che con questo marchingegno non annegherete: ogni otre potrà reggere due uomini senza affondare, mentre gli sterpi e il terriccio serviranno a non scivolare'.

Ai generali questa trovata sembrò ingegnosa, ma irrealizzabile, dato che sulla riva opposta stazionava un gran numero di cavalieri, pronti ad impedire l'attraversamento: neppure ai primi uomini avrebbero permesso di entrare in azione."

Da SENOFONTE, *Anabasi*, lib. III, V, 7-11. Traduzione F. Ferrari.

Una zattera di otri suscettibile di formare con analoghe un intero ponte. Veduta del Tigri nel medio corso.

Il ponte su otri dell'Anonimo del *De rebus bellicis*

"Si conciano pelli di vitello alla maniera degli Arabi - presso di loro infatti, è diffusa una particolare tecnica di trattamento, poiché attingono acqua dai pozzi con secchi di pelle - dunque con pelli di otri della grandezza di tre piedi e mezzo in modo che, quando questi otri, insufflati d'aria, si saranno gonfiati, non formino protuberanze; al contrario il loro rigonfiamento dovrà produrre una forma piatta, distendendosi in modo uniforme; gli otri saranno collegati l'uno all'altro con cinghie attaccate ai lati nella parte inferiore, mentre, nella parte superiore, degli uncini posti su un lato, saranno agganciati ad anelli posti sull'altro; in questo modo tutti gli elementi, collegati fra loro, prendono la forma di un ponte.

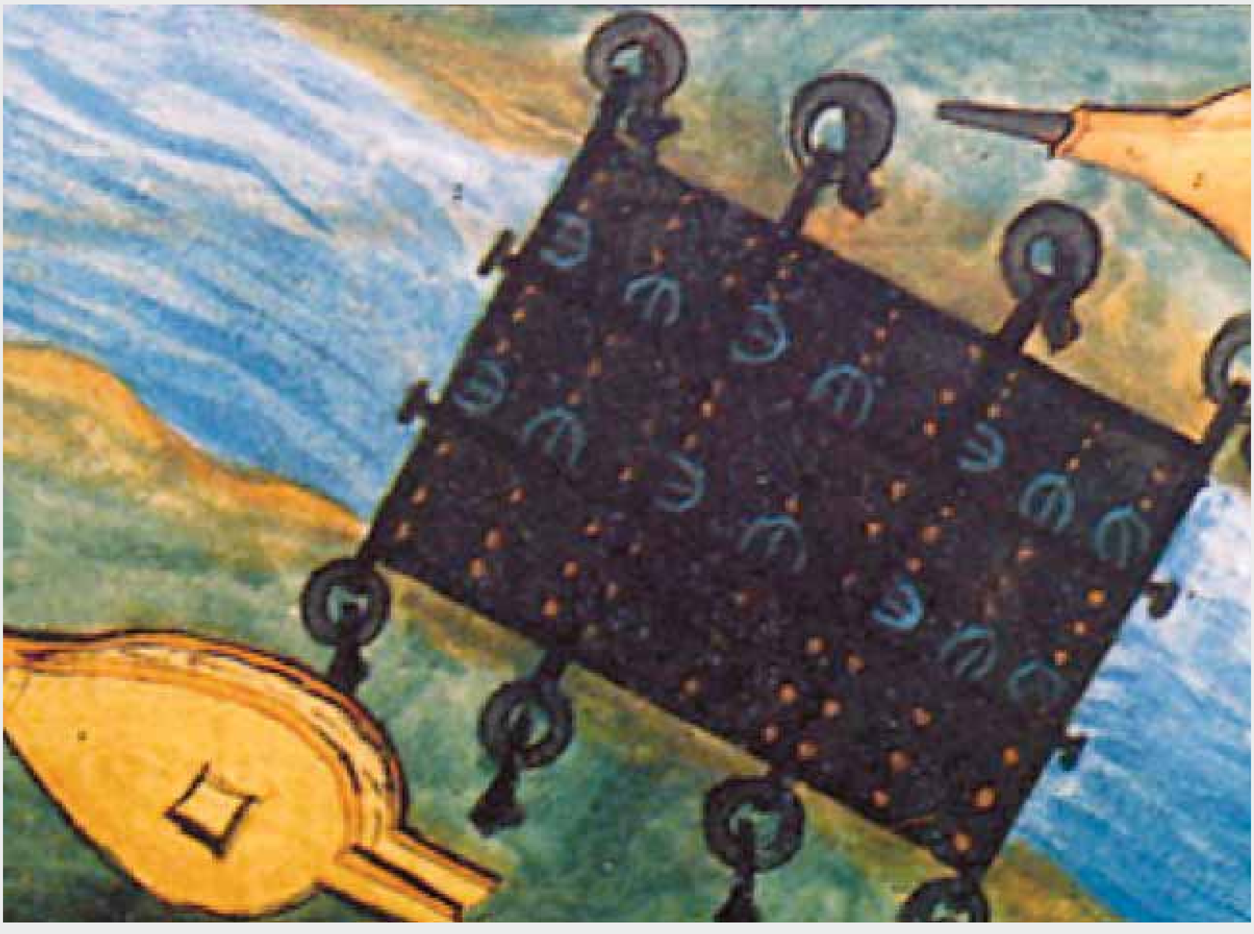
Questa stessa opera, grazie all'impeto della corrente, si estenderà più facilmente fino all'altra riva, in senso obliquo al fiume: una volta fissati dei pali di ferro sulle due rive e stese delle corde robuste nella parte centrale sotto gli otri (per sostenere il peso di coloro che vi passano sopra) e nelle parti laterali sopra gli otri (per motivi di stabilità), questa struttura offrirà in breve tempo libera facoltà di attraversare un fume con un sistema di passaggio nuovo e originale.

Dobbiamo inoltre avvertire che è opportuno stendere coperte sulla superficie degli otri, sotto i piedi di chi passa, affinché le pelli scivolose per il tipo di lavorazione non pregiudichino la stabilità del procedere.

Sull'una e sull'altra riva saranno disposte balliste a mano, per evitare che un attacco nemico ostacoli l'opera di coloro che lavorano al ponte."

Da ANONIMO, *Delle cose della guerra*, proposta XVI, IV secolo. Traduzione A. Giardina.

Ponte di circostanza su otri prospettato nel De rebus bellicis: da notare il dettaglio dei mantici, quasi a sottintendere l'incessante necessità di gonfiare gli otri colpiti dai dardi nemici.



Parte Terza: Aria → Stato Aeriforme

1. Spingere e sollevare

1.1 L'involucro del pianeta

Come l'acqua è indispensabile agli organismi animali lo è anche l'aria: anzi, se le specie superiori possono fare a meno della prima per qualche giorno della seconda, invece, possono privarsene solo per pochi minuti. Limite questo che ne conferma la fondamentale e costante esigenza, in ogni contesto e in ogni circostanza, per buona parte degli esseri viventi. L'uomo ad esempio, per poter resistere sott'acqua più o meno a lungo deve portarsi appresso dei quantitativi d'aria più o meno rilevanti.

L'aria, con l'ossigeno che contiene è anche indispensabile per qualsiasi processo di ossidazione, dalla fotosintesi alla combustione, senza la quale non vi sarebbe mai stata la vita sul pianeta né la maggior parte delle reazioni termiche, alla base delle nostre trasformazioni energetiche. Non avendo un volume definito e neppure una precisa massa, l'aria occupa tutto lo spazio disponibile variando, perciò, la sua densità in funzione di questo. Tenendo conto che calda è più leggera che fredda, l'espandersi dell'aria è una conseguenza anche della sua temperatura. Di ciò gli scienziati ellenistici erano perfettamente consapevoli: se mai ignoravano che l'aria non era un vero gas, uno *spirito* nel loro linguaggio, ma un instabile miscuglio di numerosi gas. Pertanto, la ritennero il terzo elemento in quanto tale, senza ulteriori distinzioni e specificazioni, oltre alle acquisite certezze: indispensabile per la vita, in grado di sollevarsi quando calda, di comprimersi notevolmente e di dilatarsi violentemente, con veloci e vorticose correnti, veri fiumi aerei capaci, come quelli propriamente detti, di produrre energiche spinte. Potenzialità quest'ultima che con forza variabile, dalla mite brezza alla devastante tempesta, agevolava o ostacolava i natanti, seconda che spirassero nel senso del loro avanzamento o nell'opposto.[1]

Gli stessi volatili che solcavano il regno dell'aria vennero scrutati e studiati a lungo, tentando di trovare una qualsiasi maniera per imitarli, al fine di ripetere fra le nuvole quanto già realizzato fra le onde. I pennacchi e le penne, con cui quasi tutte l'etnie si munirono, e che ancora permangono quale mero ornamento in numerosissime uniformi, tradiscono quell'ambizione. Quanto alle vie celesti, per la

1 Cfr. R. J. FORBES, *L'uomo fa il mondo*, Torino 1970, pp. 47-48.

Sotto: *Due spettacolari immagini, la ripresa satellitare di un urgano (sinistra) ed un tornado nel pieno della sua potenza.*

In alto a sinistra: *Corona di penne d'aquila dei Sioux.*
A fianco: *Cappello da bersagliere.*
Sopra: *Lord Frederic Leighton,* Icarus*, 1869.*

verità, qualcosa alla fine si trovò: non somigliava neppure vagamente ad un uccello, ma semplicemente ad una grande vela, del tipo di quelle che ormai pullulavano[2] sulla superficie del mare. Ne scaturirono confuse leggende e mitici racconti, nei quali divenne ben presto impossibile discernere l'assurdo dal vero, il sogno dalla realtà, il concreto dall'utopico!

1.2 L'aria forza motrice sul mare: la vela

Ovviamente non siamo in grado di stabilire quando la vela fece il suo debutto sul mare, anche perché non siamo in grado di stabilire cosa si debba intendere per vela. Da vari indizi il suo utilizzo sembrerebbe avviarsi almeno sei millenni or sono[3], con caratteristiche e prestazioni meramente archetipali.

2 Cfr. P. LODIGIANI, *Barche tradizionali italiane,* Milano 1992, pp. 13-26.
3 Cfr. A. MONDINI, *Storia della tecnica,* vol. I, *Dalla preistoria…*, cit., pp. 154-73.

Nel senso più vicino all'odierno significato fu verosimilmente inventata dagli Egiziani per la navigazione lungo il Nilo e sul suo delta. Forse, ipotesi condivisa da numerosi studiosi, si trattò di un ramo di palma eretto a prua dell'imbarcazione capace di far presa al vento. Posta così la questione, non rappresenta granché poiché spostare un galleggiante, utilizzando o soltanto accentuando la spinta esercitatavi contro dal vento, non significa assolutamente navigare a vela. Per una meno rudimentale fruizione bisogna attendere che il ramo divenga una stuoia intrecciata, formando perciò una superficie continua da opporre al vento, soluzione che si fa risalire al 3500 a.C..

Ma affinché al suddetto galleggiante si possa dare il nome di barca a vela bisogna attendere ancora che si dimostri in grado non solo di spostarsi per la spinta del vento, ma di dirigersi a discrezione, secondo una precisa rotta, ovvero di navigare. Indispensabile perciò che lo scafo acquisisse una determinata forma più o meno affusolata, somigliante a un pesce, e la vela emulasse a sua volta un'ala, con una superficie di presa la più ampia possibile. Due criteri informatori antitetici, il primo necessario per ridurre la resistenza all'acqua il secondo, invece, per aumentare quella all'aria!

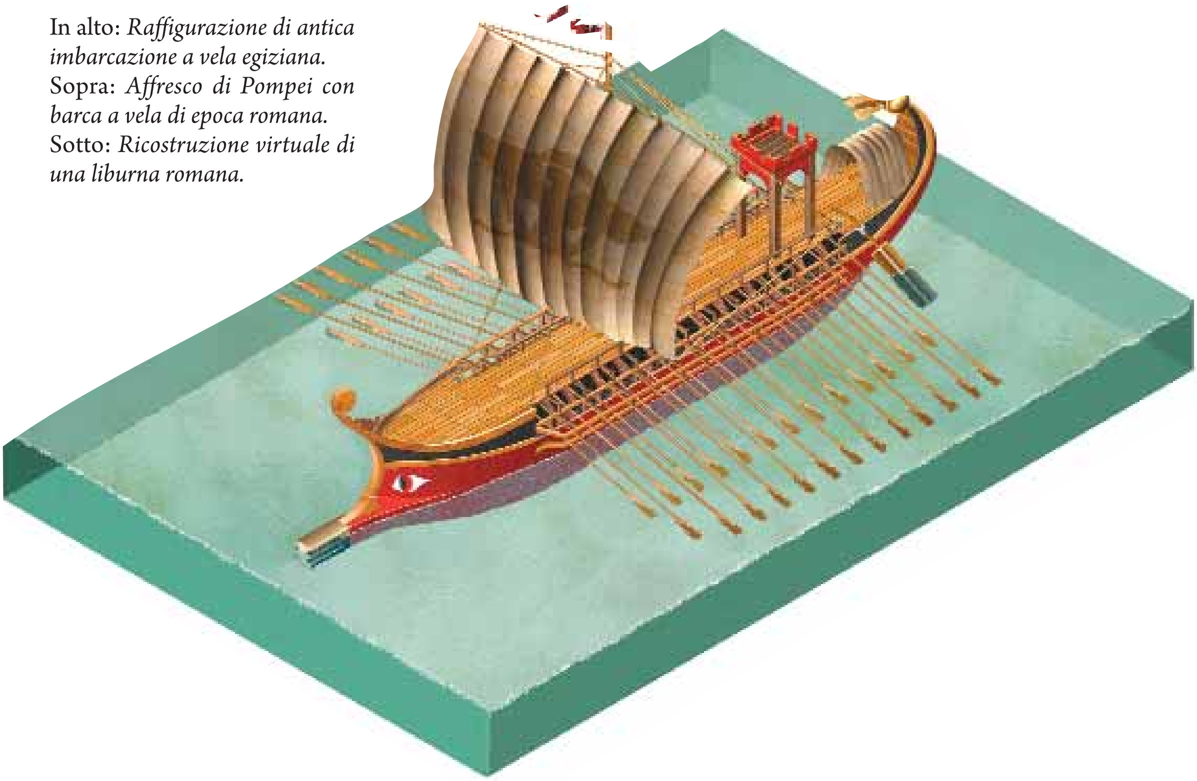
Per gli antichi la vela per antonomasia era quadra, ovvero quadrilatera, più semplice da concepire, più comoda da costruire e più spiccia da manovrare[4]: in pratica la stretta unione di tante pezze tessute al telaio, o pelli, fissate ad un pennone. Una ricca teoria di raffigurazioni antiche certificano quanto delineato e lo datano a partire dal 2900 a.C.. Per i millenni seguenti un'unica vistosa evoluzione: la disposizione del rettangolo di stoffa, dapprima col lato maggiore verticale quindi orizzontale. La spiegazione appare ovvia, consistendo nello sfruttare meglio la resistenza dell'albero a parità di spinta, potendosi incrementare la superficie della vela senza aumentare l'altezza dell'albero, dimensione comunque critica. Si ebbero perciò vele sempre rettangolari ma di notevole larghezza, appese a pennoni che ne favorivano la manovra.

La scarsa resa di tali vele e l'incostanza dei venti nel Mediterraneo determinarono la scelta per le unità militari della doppia propulsione: eolica nelle crociere di trasferimento; remica in combattimento e, ovviamente, in assenza di vento.[5] La vela quadra dominò in ogni angolo del Mediterraneo, spaziando cronologicamente dall'Egitto pre-dinastico all'Impero romano, dove continua ancora a sopravvivere, ovvia- mente al di là dell'impiego ludico, in sparute sacche.

Dal punto di vista dinamico può ritenersi un ottimo propulsore con il vento di poppa, ma di scarsa utilità quando soffia dai lati e del tutto inutile se di

4 Cfr. U. TRIPICCHIO, *Arte e tecnica navale,* Napoli 1975, pp. 169-194.
5 Cfr. V. FOLEY, W. SOEDEL, *Antiche navi da guerra a remi,* in *Le Scienze,* n° 154, 1981, pp. 95-106.

In alto: *Raffigurazione di antica imbarcazione a vela egiziana.*
Sopra: *Affresco di Pompei con barca a vela di epoca romana.*
Sotto: *Ricostruzione virtuale di una liburna romana.*



Ricostruzione di una nave mercantile romana.

prua. Il che ne rese certamente problematica l'adozione in ambito mercantile lungo rotte fisse. Le navi cariche di grano che dirigevano alla volta di Roma dai porti egiziani, se all'andata erano favorite dal vento al ritorno ne erano ostacolate, per cui di giorno in giorno si escogitarono delle maniere di disporre la vela, per limitare quelle preclusioni.

Sebbene la definizione di *vela latina* non indichi la popolazione che l'inventò o l'adottò per prima, ma è l'esito di una mutazione di *vela trina,* cioè triangolare, e sebbene la sua comparsa sia correntemente collocata nel IX secolo della nostra era, in realtà se ne trova qualche accenno embrionale, detto anche *vela a tarchia*, già in epoca romana, soprattutto su imbarcazioni di piccole dimensioni. In un bassorilievo greco del II sec. d.C. ne compare una precisa raffigurazione, alla quale se ne aggiungono altre, comunque rare, immediatamente successive. Circa la plausibile genesi, se ne sono supposte varie fasi successive, provocate

1968, il San Giusepe II in navigazione a vela. Ben evidente l'armamento a vela latina.

dalla modifica della vela quadra sotto l'azione del vento. Precisava Aristotele, o lo pseudo Aristotele già nel 330 a.C., nelle sue *Questioni meccaniche*[6]:

"*...perché i naviganti, dopo aver veleggiato con vento favorevole, quando desiderano continuare sul loro corso per quanto il vento non sia favorevole, ammainano la parte della vela verso il timone* [il timone a cui si riferisce è quello a doppi remi laterali] *e stringendo il vento, lasciano libera la parte della vela verso la prua? È perché il timoniere non può produrre un effetto contro il vento quand'è forte, ma può quando non lo è ed è per questo che loro ammainano* [il retro della vela]".

In pratica il grande scienziato riassume quella che fu la genesi della vela latina: dapprima s'inclinò il pennone, fino a fargli assumere un'angolazione obliqua e, quindi, si asportò dalla vela quanto eccedeva dagli originali contorni, verticale e orizzontale, riducendola così ad un triangolo rettangolo con l'ipotenusa fissata al pennone.[7] Il passaggio successivo alla vela latina fu abbastanza rapido e consequenziale. È curioso osservare che tanto l'avvento della vela latina quanto il mulino eolico cretese, costituito da una girante composta da varie vele latine, siano fatti risalire entrambi all'VIII secolo della nostra era. Tuttavia, constatata, la loro sostanziale contemporaneità in base alle allusioni e agli indizi, molti studiosi sono portati a retrodatarne la comparsa fin quasi all'età ellenistica. È, infine, interessante ricordare che la navigazione a vela ed a remi, ancora in epoca romana avveniva solo nella buona stagione, per i suoi forti rischi dovuti ai violenti cambiamenti meteorologici ed alla breve durata del giorno. Così al riguardo Flavio Renato Vegezio[8]:

"*Dopo il sorgere delle pleiadi, dal sesto giorno delle calende di giugno, fino al sorgere di Arturo, il giorno prima della diciottesima calenda di ottobre, la navigazione è sicura, poiché per il beneficio dell'estate è più mite l'acerbità dei venti. Dopo il sorgere di Arturo fino alle terze idi di novembre la navigazione è incerta e a propria discrezione, per Arturo astro assai forte. Dal mese di novembre la navigazione è stravolta da forti tempeste per il suo tramonto. Da quel giorno nelle terze idi di novembre fino al sesto giorno delle idi di marzo la luce è minima e la notte prolissa, inoltre la densità delle nubi,*

6 Da ARISTOTELE, *Questioni meccaniche*, 85, 1b.
7 Cfr. A. CHERINI, Archeologia della vela dalla quadra alla latina, versione elettronica http://www.webalice.it/cherin/Nascita della vela. Ed anche cfr. P. DELL'ORCO, *Remote origini della vela latina*, in *Rivista Marittima*, gennaio 1978.
8 F. R. VEGEZIO, *De re militari*, lib. V, 9.

Nave Amerigo Vespucci in navigazione a vela.

l'oscurità dell'aria, la forza dei venti o le nevi non solo guastano le flotte in mare ma anche i viaggiatori negli itinerari terrestri. Dopo fino alle idi di maggio è pericoloso tentare i mari, così i marinai devono usare maggiore cautela."[A33]

Vegezio, per inciso l'unico autore romano che ci ha lasciato un sia pur breve trattato sulla guerra navale, distingue, in pratica, tre periodi ben precisi per la navigazione: *secura navigatio*, dal 27 maggio al 14 settembre; *incerta navigatio* dal 20 marzo al 26 maggio e dal 15 settembre al 10 novembre, intervallo nel quale già consigliava di non mettersi più per mare e, infine, un periodo di totale preclusione, dall'11 novembre al 9 marzo, allorché la navigazione si arrestava completamente, per cui *maria clauduntur*. Di conseguenza, in inverno, non vi erano imbarcazioni in navigazione ad eccezione, forse e molto raramente, di qualche unità militare che grazie ai remi poteva facilmente trovare riparo a terra.

1.3 L'aria forza motrice in terra: il mulino eolico

Probabilmente fu proprio osservando il moto delle foglie turbinanti nell'aria che si comprese la potenzialità dinamica del vento, prima ancora di quella dell'acqua. Quasi certamente, infatti, tra gli ancestrali mezzi di sfruttamento vi fu una rozza stuoia utilizzata per spingere le piroghe sulle tranquille lacune, evento avvenuto secondo complessi calcoli intorno al IV millennio a.C. se non prima ancora. Nel giro di circa un millennio quel medesimo criterio informatore trovò impiego anche in terra, appunto nel mulino a vento afgano o persiano. Ma, solo dopo una lunga trafila di migliorie, dal primitivo congegno si passò ad un mulino, certamente ancora molto rudimentale, ma funzionante in maniera efficace. Quel fondamentale salto tecnologico dovette compiersi all'alba del II millennio a.C. in Mesopotamia, come alcune

A33 Testo originale Allegato 33, in Allegati.

Un elicottero dell'Aeronautica Militare sorvola l'Eufrate durante una recente missione di pace.

Sopra: *Una foto aerea dell'Eufrate.*
Sotto: *Veduta di un'antica Zigurrat.*

va-ghe allusioni del codice del grande Hammurabi[9], in precedenza citate, sembrano suggerire.[10]

Improbo tentare di appurare l'esatta connotazione tecnica di quelle remotissime macchine, né se fossero effettivamente a vento o ad acqua, plausibile però, supporle non molto diverse dai primitivi mulini eolici ad asse verticale tipici dell'Afganistan, della Persia e della Mesopotamia. Di essi, sebbene l'origine si perda nella notte dei tempi, abbiamo perfetta conoscenza dal momento che alcuni continuano ancora oggi a macinare il grano, sempre negli stessi siti.

1.3.1 Il mulino eolico afgano

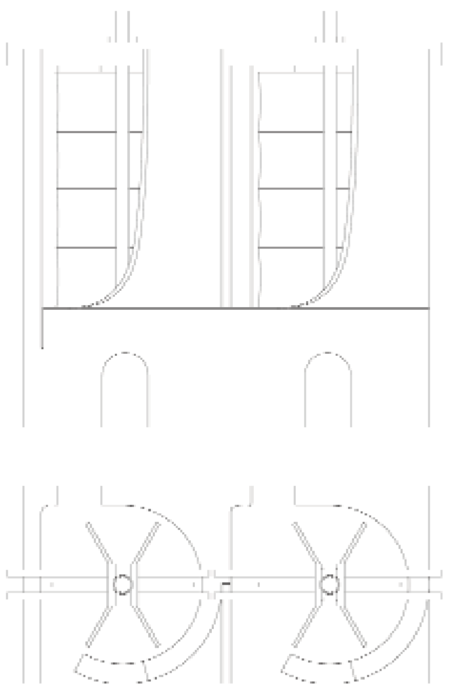
Come accennato, l'archetipo della nutrita tipologia dei mulini ad asse verticale constava di un albero con l'estremità inferiore fissata in una macina orizzontale di pietra, munito nella sua lunghezza di alquante stuoie, disposte a raggiera e fungenti da pale. Tale primitiva girante veniva collocata in un apposito edificio, sulla cui sommità due travi ravvicinate, formando un approssimato ceppo per l'estremità superiore dell'albero, ne permettevano la rotazione. Un'antichissima fonte così descriveva quei mulini: "*hanno otto ali e stanno dietro due pilastri tra i quali il vento deve spingere un cuneo. Le ali sono montate verticalmente su un palo verticale la cui estremità inferiore muove una macina che ruota sopra un'altra sottostante.*"[11]

I due pilastri formavano, in realtà, una fessura larga poco meno del raggio della girante, attraverso la quale penetrava il vento, costante per gran parte dell'anno. Grazie a quella sorta di convogliatore, soltanto una pala per volta era spinta dalla corrente,

9 Circa la figura del grande Hammurabi cfr. D. CHARPIN, *Hammurabi di Babilonia*, Pordenone 2005, parte II e III, pp. 87-219.

10 La famosa Stele di Hammurabi è una statua realizzata in diorite nera, pietra di notevole durezza, alta 204 cm che fu rinvenuta sul finire dell'Ottocento presso la città di Susa, nella provincia iraniana di Khuzestan. Giacitura attribuita ad uno spostamento successivo, forse in quanto preda bellica. Sulla sua superficie sono incise 282 sentenze di Hammurabi, che vengono perciò a formare un insieme di leggi, un antesignano codice giuridico. La stele si trova attualmente a Parigi nel Museo del Louvre.

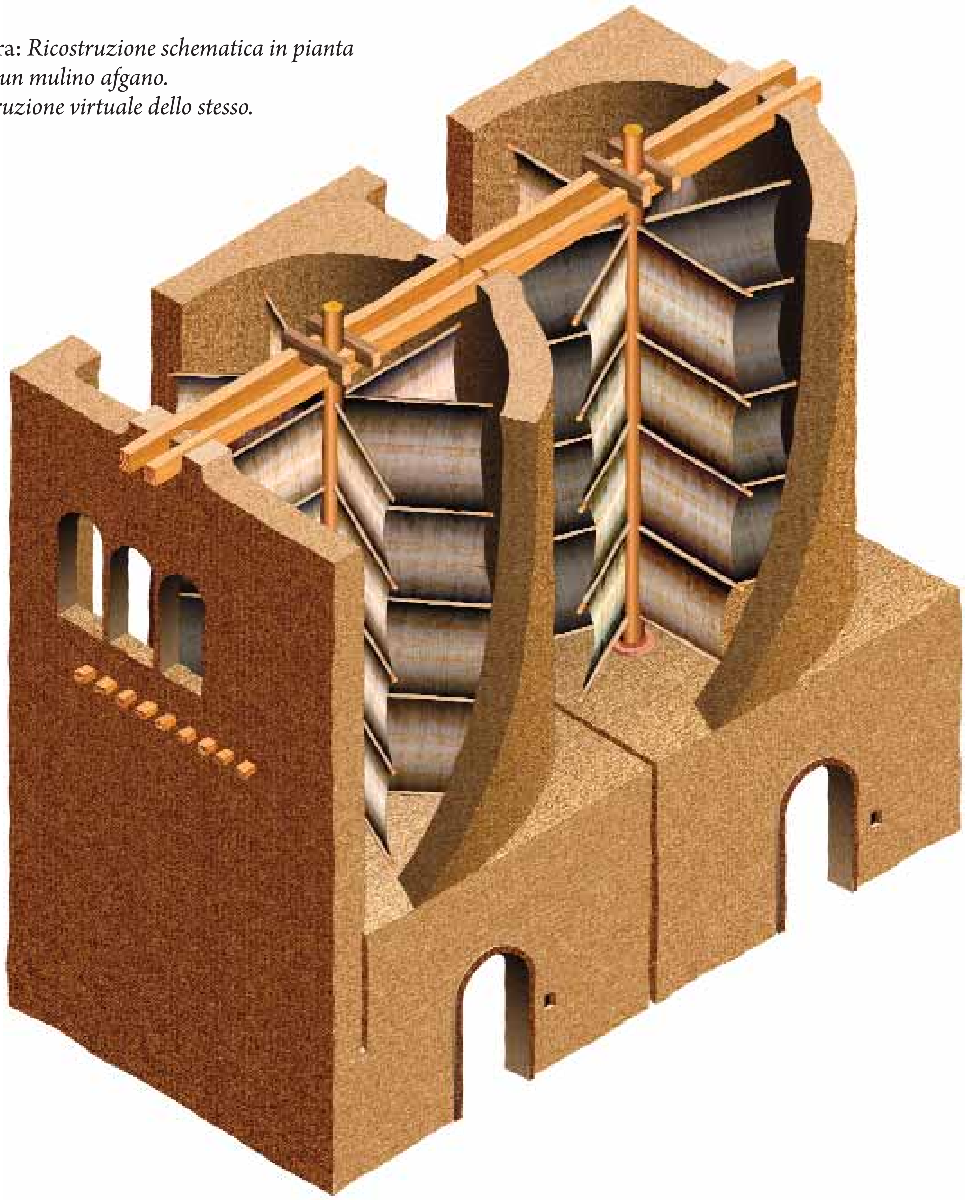
11 La citazione è tratta da R. J. FORBES, *L'uomo...*, cit., p. 107.

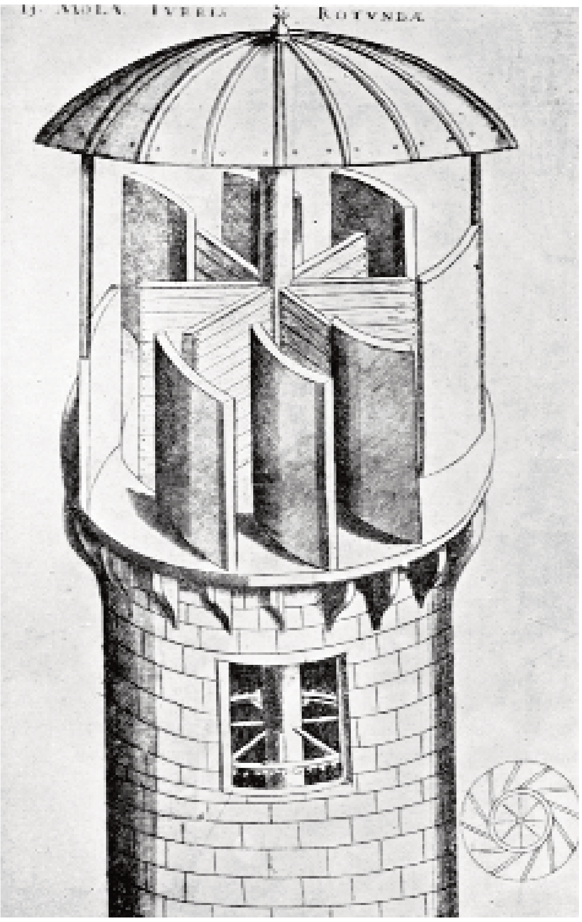


unica condizione per provocare la rotazione dell'albero. Nei mulini più esposti al vento si applicò alla feritoia una robusta persiana a listelli mobili, fungente da saracinesca di regolazione. Dalla parte opposta, la fuoriuscita del vento avveniva attraverso un vano svasato, che per la sua particolare conformazione evitava il formarsi di dannose turbolenze. Ovviamente né allora né in seguito gli ingegnosi costruttori del sofisticato sfogo ne compresero la ragione, limitandosi a utilizzarne i vantaggi sulla rotazione.

Dal punto di vista funzionale lo schema di siffatti mulini risulta identico a quelli manuali, nei quali il grano era triturato tra due dischi di pietra, fisso l'inferiore e rotante il superiore. Tramandava un'altra fonte, più recente della precedente, che in Afganistan tutti i mulini: "*sono mossi dal vento del nord e quindi orientati in questa direzione. Tale vento è molto costante in quel paese e soffia con maggior costanza e più forza durante l'estate. Applicate ai mulini a vento vi sono delle file di persiane che vengono chiuse o aperte per trattenere o immettere il vento. Infatti se*

In alto a destra: *Ricostruzione schematica in pianta e prospetto di un mulino afgano.*
Sotto: *Ricostruzione virtuale dello stesso.*





In alto a sinistra: *Mulino afgano ancora in uso.*
In alto a destra: *Il mulino a vento di Fausto Veranzio.*
Sopra: *Le ruote tibetane per la preghiera.*

questo è troppo forte la farina brucia e diventa nera e la stessa macina può surriscaldarsi e guastarsi."[12] Il descritto mulino eolico ad orientamento fisso, non si avvaleva di alcun cinematismo né di alcun riduttore dentato, peculiarità che nonostante l'infimo rendimento, ne spiega la longevità, forse la maggiore nell'ambito della storia tecnologica.

Si conosce un secondo tipo di mulino a vento ad asse verticale reputato più del precedente di stretta derivazione dalle ruote delle preghiere, soprattutto di quelle azionate dal vento, tipiche dell'Asia centrale. Il suo debutto, pertanto, rimonterebbe alla metà del I millennio a.C.. Grazie alla collocazione invertita della girante, fissata sotto la macina, non solo risultava più razionale dell'altro ma non richiedeva neppure supporti per l'albero e triturava con maggiore pressione.

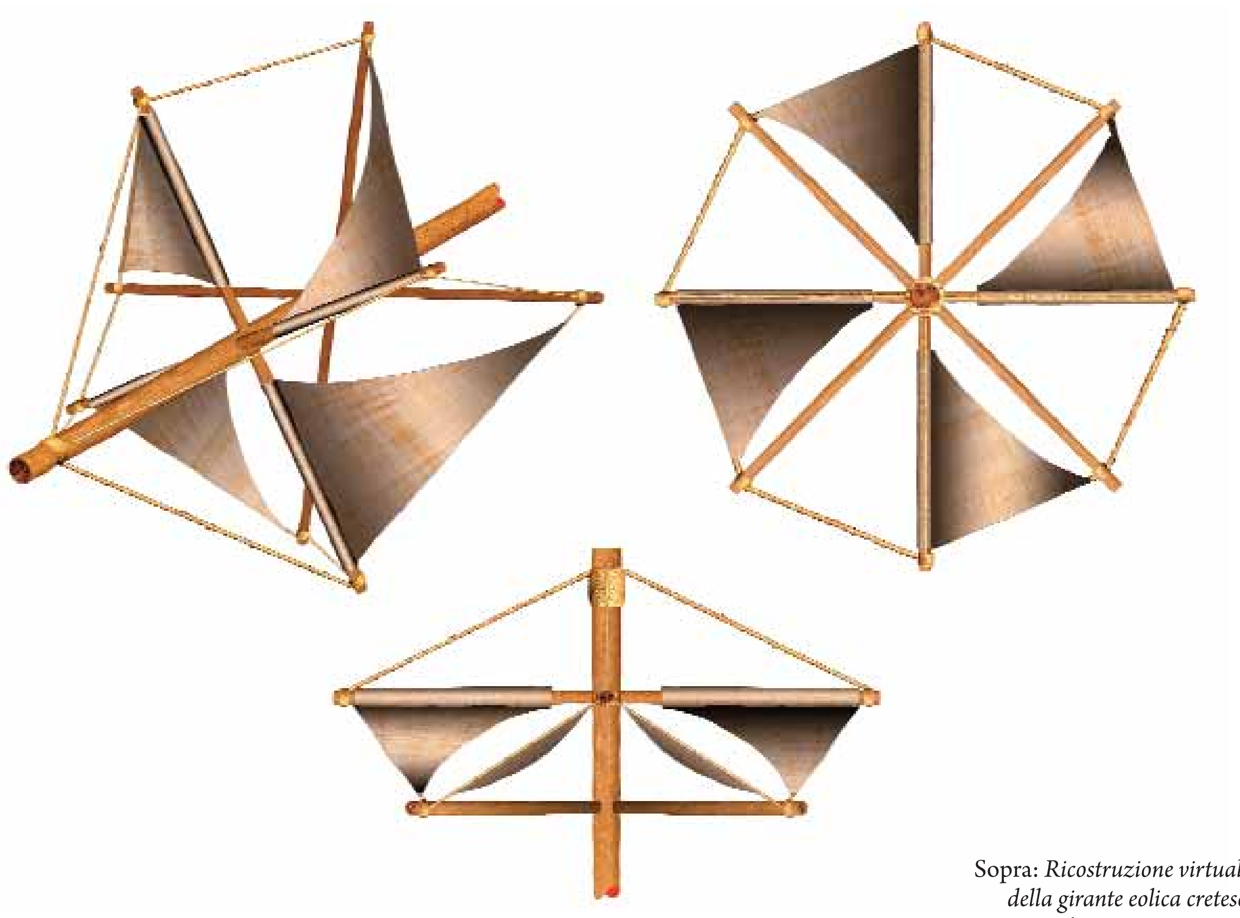
Il vetusto modello afgano, che in modo imprecisabile raggiunse l'Europa nell'età antica, non vi scomparve del tutto neanche in età moderna. Lo si ritrova, infatti, in un disegno redatto da Fausto Veranzio del 1595[13], peraltro puramente teorico. La sua vera novità, e forse il suo maggior apporto, consiste in alquante pale fisse, della stessa altezza di quelle rotanti. Disposte con un preciso angolo, avrebbero dovuto convogliare sulle seconde il flusso d'aria, sempre con la medesima incidenza indipendentemente dalla direzione del vento.

L'idea, che non conobbe nei secoli successivi alcun impiego, ricomparve però nella turbina *Francis*, dove una corona di pale fisse dirigono altrettanti, violentissimi, getti d'acqua sulle pale della girante, esaltandone il rendimento.

12 La citazione è tratta da R. J. FORBES, *L'uomo...*, cit., p. 107.
13 Fausto Veranzio nacque a Sebrenico nel 1551 e morì a Venezia nel 1617, e pur avendo studiato ingegneria e matematica, a Padova ed a Venezia, fu cancelliere a Praga. In seguito dopo la morte della moglie si trasferì a Venezia dove compose e diede alle stampe il suo saggio *Machinae Novae*, Venetiis 1616. In esso sono contenute alcune sue invenzioni originali, nonché numerose altre, mere rielaborazioni di precedenti studiosi.

1.3.2 Il mulino eolico cretese

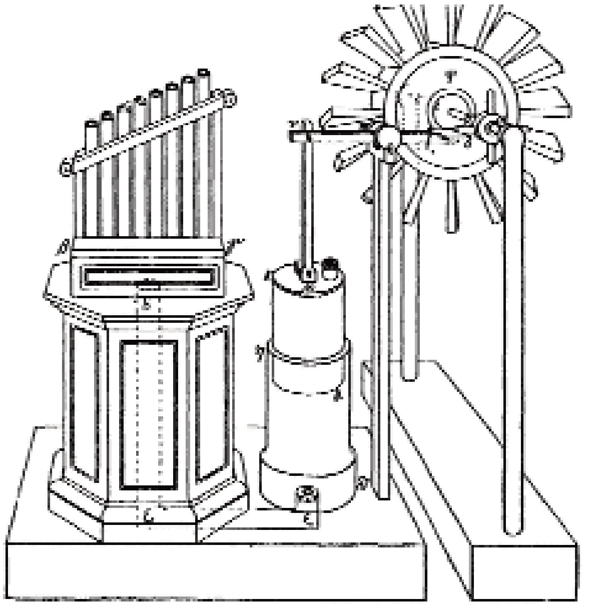
Il grande impulso che nel Medioevo ebbe la navigazione grazie alla vela, favorì l'infittirsi dei commerci ad ampio raggio. Al contempo dimostrò che la forza motrice del vento poteva essere sfruttata pure quando proveniente da direzioni oblique: potenzialità



Sopra: *Ricostruzione virtuale della girante eolica cretese.*
Sotto: *Mulino a vento cretese* .

rivoluzionaria per i mulini a vento, capaci di funzionare persino nella più fredda stagione quando il gelo bloccava le ruote a palette, ma inerti con il vento trasversale! Per la loro diffusione occorreva, pertanto, superare il rigido orientamento del mulino afgano e persiano, forse il motore primario più arcaico, perché i venti mediterranei a differenza dei continentali mutano rapidamente per intensità e direzione. La soluzione fu appunto il mulino cretese, una serie di vele latine vincolate ad un albero rotante: tuttavia, come per la vela latina, anche del mulino cretese fino ad oggi non sono stati trovati riscontri inoppugnabili nelle fonti scritte, né in quelle iconiche né, meno che mai, in quelle archeologiche della sua presenza in età classica. Un implicito indizio della sua notorietà agli albori della storia lo si può ricavare dalla enorme padronanza tecnica che la prima talassocrazia del Mediterraneo, genitrice della mitica civiltà minoica, ebbe con le vele, presupposto indispensabile per la sua realizzazione: applicare diverse vele intorno ad un asse, fu una ingegnosa invenzione, plausibile in una cultura tecnica dominata dal genio di Dedalo.[14]

14 Cfr. V. G. CHILDE, *L'alba della civiltà europea,* ristampa Torino 1973, pp. 20-41.



In alto a sinistra: *Giranti di mulini a vento cretesi senza le vele.*
Sopra: *Schema grafico dell'organo a vento di Erone.*

Ma si tratta, a ben vedere, di una condizione necessaria ma non sufficiente!

Dal punto di vista strutturale, la girante eolica cretese contava dalle quattro alle dodici ali triangolari di grossa tela, del tipo di quella impiegata per le vele delle navi. Fissate ad una rozza orditura lignea, venivano stese con una inclinazione di circa 10°, rispetto al piano della stessa, in modo da offrirsi oblique al vento. Regolandone la superficie esposta, esattamente come si faceva sulle navi, se ne poteva accrescere o ridurre la velocità di rotazione in funzione di quella del vento. Questo emblematico dettaglio, che sotto vari aspetti ricorda la manovra che trasformava la vela quadra in vela triangolare, costituisce un ulteriore indizio in merito alla probabile presenza in età classica del mulino cretese.

Dal momento che la potenza erogata dal mulino cretese è funzione del numero piuttosto che della dimensione delle sue vele, tutte contemporaneamente investite dal vento, è ovvia la scelta di governarne molte di piccole dimensioni piuttosto che poche di grandi, sebbene l'operazione sia più faticosa. Pertanto, quando si optò per giranti con sole quattro o sei ali al massimo, lo si fece per agevolarne la manovra, relegando quelle con un numero maggiore ai compiti più gravosi o alle località meno ventose.

1.3.3 Il mulino a vento ad asse orizzontale e pale inclinate verticali

Circa la sua esistenza in età ellenistica v'è una singolare testimonianza di Erone, che per la sua indubbia competenza assume valore dirimente. Lo scienziato: "*parlando di un organo pneumatico azionato da una ruota provvista di pale, aveva descritto la ruota dicendola simile a un* ἀνεμούριον*, che evidentemente considerava un oggetto ben noto al lettore. La parola è composta con un primo termine che significa 'vento', e non è altrimenti attestata come comune, ma il contesto rende chiaro che si trattava di un oggetto capace di creare un moto rotatorio usando il vento …*ἀνεμούριον*, è attestato anche come toponimo. Fu dato questo nome, in particolare, a due promontori in Cilicia. Si può congetturare che in questo caso si trattasse di mulini a vento (a meno che non sia una parola usata per indicare un monte ventoso, che solo casualmente coincide con il termine di Erone).*"[15] Volendo fugare ogni dubbio, non fosse altro per la rilevanza che la girante eolica riveste nella storia della tecnologia, il brano di Erone appare inequivocabile, utilizzandola per azionare un compressore a cilindro e stantuffo, tramite un congegno per trasformarne il moto rotatorio in alternativo, prestazione che un promontorio ventoso non avrebbe in alcun modo fornito. Così la sua descrizione dell'*organo a vento*[16]:

"Siano le canne musicali A, una canna per traverso forata insieme con loro BG il tubo trasversale che comunica con loro, E un tubo verticale, EZ un altro tubo orizzontale che mette in comunicazione DE con il cilindro HT della quale la superficie interna è alesata in modo da aderire ad un pistone KL che vi si deve poter muovere liberamente. A tale pistone è collegato un tirante MN e a questo un altro

15 Da L. RUSSO, *La rivoluzione…*, cit., pp. 153-154.
16 ERONE, *Pneumatica*, teorema LXVI.

tirante NX in grado di oscillare all'estremità di un asse PR. In N vi è un perno che gioca liberamente e in X sta fissata una paletta XO. Questa è posta a contatto con una barra S mobile su dei supporti di ferro collocati su di un basamento che può essere spostato. Sulla barra S sono calettati due piccoli dischi Y e F: il primo è munito di camme piazzate dopo la paletta XO; il secondo di ali simili a quelle dei mulini a vento. Quando queste ali, mosse dal vento, fanno girare il disco F, anche la barra gira, trascinando nella sua rotazione il disco Y e le sue camme, che vengono a far forza sulla paletta, sollevando il pistone; quando una delle camme si è disimpegnata, il pistone ridiscende, spingendo l'aria del cilindro HT nei tubi e nelle canne che producono il suono.

Si può spostare il basamento che sostiene la barra in modo di approfittare sempre del vento dominate per produrre così un movimento di rotazione più rapido e continuo".

La necessità di spostare il basamento per poter sfruttare il vento del momento, oltre a ribadire che l'*anemurion* fosse realmente una girante, fa escludere pure che fosse di tipo afgano, peraltro già incongruo per il riferimento all'asse orizzontale. Incompatibile anche il tipo cretese, per l'eccessiva complessità di manovra ed ingombro delle sue vele, per cui è plausibile immaginare una girante eolica a quattro pale verticali leggermente oblique, simili ad ali, connotazione che in Europa comparirà soltanto nel tardo Medioevo.

1.4 La direzione del vento: l'anemoscopio e l'anemometro

Per il miglior uso dei mulini a vento, come del resto della vela, era fondamentale conoscere la direzione del vento e se possibile anche l'intensità. Per la prima esigenza ci si avvaleva dell'anemoscopio, cioè di una banderuola posta su di un quadrante fisso sul quale stavano indicate le direzioni dei venti principali. In seguito diverrà nota come *rosa dei venti*: stando a Vitruvio fu appunto un antesignano anemoscopio ad otto direzioni, la celebre Torre dei Venti di Atene. Così al riguardo[17]:

4 - Alcuni autori non ammettono che quattro venti; il solano che soffia dal levante equinoziale; l'austro da mezzogiorno; il favonio dal ponente equinoziale; il settentrione dal nord. Quanti, però, si sono dedicati a ricerche più attendibili, ne hanno contati otto. È soprattutto Andronico Cirrestre che, per indicarne la direzione, fece costruire ad Atene una torre di marmo, di forma ottagonale. Su ciascuna delle sue facce stava rappresentata l'immagine degli otto venti, girato ciascuno verso la parte del cielo da dove proviene. Su questa torre si innalza una piramide di marmo, sormontata da un tritone di bronzo, che tiene una bacchetta nella mano destra. È disposto in maniera di potersi girare ad ogni capriccio del vento, offrendo sempre la faccia a quello che soffia, indicandone l'immagine con la sua bacchetta che tiene verso il basso.[A34]

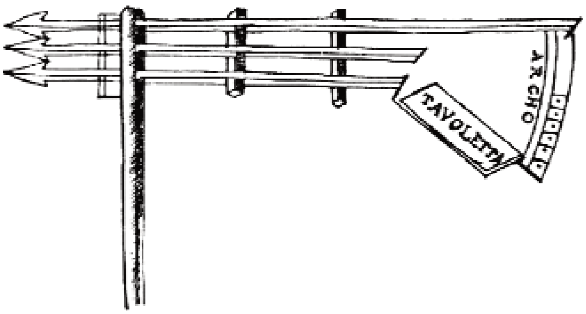
In alto: *La Torre dei Venti di Atene.*
Sopra: *La banderuola del palazzo comunale di Modena.*

17 VITRUVIO, *De architectura*, lib. I, 6, 4.

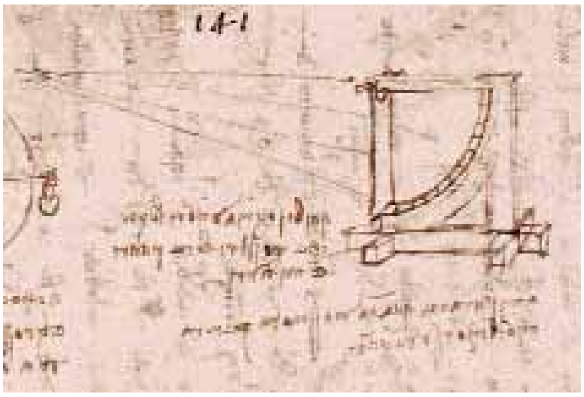
A34 Testo originale Allegato 34, in Allegati.

Qualcosa del genere ma, di gran lunga più elaborato, si era fatto costruire Varrone nella sua villa che così ricordava:[18]

"*Si vede nella cupola che copre questo salone, la stella Lucifero durante il giorno, e la stella Vespero durante la notte; si spostano lungo la circonferenza ed indicano le ore. Sulla sommità di questa cupola è dipinta intorno ad una torretta una rosa di otto venti, come nell'orologio che fece l'artista di Cirra per la città di Atene; e un'asta, sostenuta dalla torretta, si muove per indicare quale vento soffi all'esterno.*"[A35]



Sopra: *L'anemometro disegnato da Leon Battista Alberti.*
Sotto: *Lo stesso nella versione di Leonardo da Vinci.*



Per quanto concerne, invece, la stima delle velocità del vento, Vitruvio accenna ad uno strumento che sarà poi disegnato da Leon Battista Alberti, e quindi anche da Leonardo da Vinci. Tale anemometro viene definito *a pendolo*, essendo la stima della velocità ricavata dall'angolo che assume una tavoletta incernierata superiormente spinta dal vento. Che il vento potesse esercitare una forza con una componente verso l'alto, fu presto non solo evidente, ma anche sfruttato, forse dapprima in Cina e poi in Occidente.

18 VARRONE, *De agricoltura*, lib. III, 5,17.
A35 Testo originale Allegato 35, in Allegati.

1.5 *L'aria forza ascensionale: gli aquiloni giganti*

Stando alla tradizione fu Archita[19] ad inventare l'aquilone o, per altri studiosi, piuttosto una colomba che, battendo le ali, riusciva a volare. Stando alla leggenda, invece, fu Dedalo molti secoli prima che, insieme al figlio, con ali posticce riuscì a sollevarsi in volo da una terrazza del Labirinto di Creta. Quale che fosse la priorità sottesa a quei racconti, non dovette richiedere grande acume osservare che le foglie secche, incapaci di sollevarsi, lo divenivano se spinte dal vento. In definitiva, per volare sarebbe servita un'esile vela, simile ad una gigantesca foglia, capace di catturare il vento propizio, costante ed intenso. L'intuizione, innumerevoli volte riscontrata, fu sicuramente rafforzata dalla visione delle grandi vele gonfie che spingevano le imbarcazioni. In epoca più recente sarà la copertura degli anfiteatri, costituita da un leggero velario, che nel caso del Colosseo era manovrato dai marinai della flotta di Miseno[20], a fornire un indubbio esempio di vela orizzontale.

19 Sulla figura di Archita, cfr. B. GILLE, *Storia delle tecniche...*, cit., pp. 172-174.
20 Circa l'organizzazione militare e le varie mansioni dei marinai della base di Miseno, cfr. F. RUSSO e F. RUSSO, *79 d.C. rotta su Pompei...*, cit., pp. 126-152.

Sotto: *Resti e planimetria del labirinto di Creta.*

Sopra: *Stampa rinascimentale con busto di Archita.*
A fianco: *Jacob Peter Gowy,* La caduta di Icaro*, 1636.*
Sotto: *Il Colosseo con ben evidenti le grandi mensole che sostenevano i pali del velario. Ed in dettaglio i cippi per le funi.*

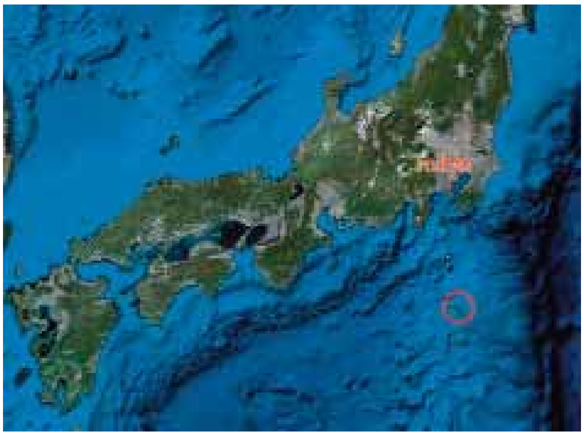
Diviene, quindi, estremamente probabile che nei giorni di vento, o anche quando per il riscaldamento dell'arena si determinavano delle forti correnti termiche ascensionali, quella enorme vela tendesse a sollevarsi, fornendo un ulteriore spunto in materia. Agevole concludere che, se per spostarsi in piano la vela doveva opporsi verticalmente al vento, per spostarsi verso l'alto lo avrebbe dovuto fare orizzontalmente sostenuta da un telaio, leggero e robusto, variante aerea dell'albero e del pennone. Ad esso si sarebbe avvinto con un'imbracatura il pilota, o per meglio dire l'osservatore aereo.

Paradossalmente per navigare nel cielo si fece ricorso a molte competenze proprie degli uomini di mare, per l'epoca i Minoici per antonomasia. Dal nome del loro emblema, *labris,* l'ascia a due lame, o bipenne, deriva quello della immensa residenza reale di Creta, il *labirinto*. Più che un palazzo una miriade intricata e indecifrabile di ambienti, raccordati da terrazzi affacciati sull'Egeo.[21] Opera di Dedalo, che da progettista vi si ritrovò prigioniero, per cui tentò di evadere insieme al figlio superando quell'azzurra barriera in volo. Per restare alla famosa leggenda, riferita persino da Sofocle, Euripide ed Aristofane, costruì perciò delle ali con vimini, piume e cera: e finì in tragedia. Così al riguardo Euripide[22]:

"Dedalo, quando voleva, indossava delle ali e volava. Modellò delle ali e le mise anche a suo figlio Icaro, facendolo volare nell'aria. Ma quando la cera si sciolse egli precipitò nel mare che da lui stesso è chiamato Icario".

Di gran lunga più verosimile la costruzione di due grandi aquiloni di vimini e tela. Collocate quelle due ampie vele su di una vasta terrazza e inclinate, per catturare la spinta della brezza, subito si sollevarono. Impossibile governarle in una qualsiasi maniera: plausibile il volo librato, plausibile ancor di più la tragedia! Curiosamente qualcosa di analogo s'incontra pure nella mitologia giapponese oltre due millenni dopo. Intorno al 1100, un nobile samurai, tal Minamoto Tamemoto, condannato insieme all'innocente figlio all'esilio sull'inospitale isola di Hachijo,

21 Circa le caratteristiche del palazzo dell'ascia a due lame, o *labris* da cui Labirinto, cfr. R. MARTIN, *Architettura greca,* in *Storia universale dell'architettura. Architettura mediterranea preromana,* Venezia 1972, pp. 193-214.
22 EURIPIDE, *Ecuba*, 838.



In alto: *Veduta satellitare del Giappone. Nel cerchio rosso l'isola vulcanica di Hachijo Jima.*
Sopra: *Veduta aerea dell'isola.*
Sotto: *Minamoto Tamemoto in una antica incisione giapponese.*

riuscì a far evadere felicemente il giovane, sospendendolo ad un aquilone gigante di vimini e carta da lui costruito. Due leggende non costituiscono una prova ma, al massimo una diceria, un labile indizio nella migliore delle ipotesi.

Di certo, però, in Cina ed in Giappone gli aquiloni giganti, perfettamente in grado di sollevare uno o due uomini, già risultano presenti nel IV-III sec. a.C.. Vengono usati, tra l'altro, come specole aeree per controllare le manovre nemiche: in sostanza come delle torri di eccezionale altezza. Per quanto se ne sa furono proprio i Cinesi, dopo l'invenzione o il perfezionamento degli aquiloni giganti, ad interessarsi del loro impiego militare, apportandovi delle razionali modifiche. Ne avevano, infatti, accresciute le capacità di sollevamento al punto da impiegarli in diverse circostanze per comunicazioni di vitale importanza tattica. Dalla dinastia Song (960-1279) si iniziarono a costruire anche aquiloni da bombardamento, facendogli trasportare cariche di polvere pirica di circa 500 g a diverse centinaia di metri d'altezza. Mediante rudimentali micce se ne provocava la caduta e l'esplosione sul nemico: la precisione era scarsa ma l'effetto terrifico enorme! Ancora maggiore quando a giungere dal cielo non erano rumorosi mortaretti ma agguerriti incursori. Stando ad alcune antiche fonti cinesi, la fortificazione di Coryo (718-1380) in Corea, fu espugnata impiegando per la prima volta assaltatori volanti, ciascuno dei quali condotto sull'obiettivo da un aquilone. Dando per buona la notizia sarebbe quello il debutto nella storia delle unità aviotrasportate.

1.5.1 Tracce di volo librato in Occidente

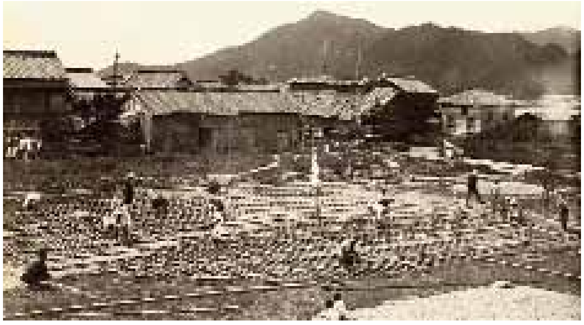
Per rintracciare, però, dei riferimenti attendibili e cronologicamente circostanziati in merito agli aquiloni giganti con equipaggio a bordo, bisogna attendere il 1285 ed *Il Milione* di Marco Polo.

Stando alla sua narrazione, infatti, quando una nave doveva intraprendere un lungo viaggio i marinai per prevedere se il vento avrebbe o meno favorito la navigazione costruivano un aquilone gigante, fissandolo a ben otto funi di manovra. La struttura, quand'anche di vimini e carta, pesava alcune tonnellate, stazza che cresceva ulteriormente quando vi veniva legato il pilota, quasi sempre un ubriaco. All'epoca, infatti, ritenevano, e non immotivatamente, che solo un folle o un individuo in preda all'alcool, potessero ascendere senza titubanze e paura su di un simile mezzo. Ad ogni buon conto, vincendo le molteplici difficoltà, se il decollo avveniva

In alto: *Carovana di Marco Polo in un atlante catalano del 1375.*
Sopra*: Raffigurazione del costume tartaro 1291-94.*

regolarmente e rapidamente si riteneva un auspicio ottimo, precipuo di un viaggio senza ostacoli o bonacce. Pessimo nel caso contrario, ragione quasi sempre valida per rinviarlo a circostanze migliori. Marco Polo, non si sofferma a ricordare la sorte del passeggero ma è probabile che il più delle volte tornasse incolume a terra guadagnandosi, per quell'impresa, ammirazione e nuove bevute.

In quale modo, poi, venissero costruiti quei giganti dell'aria lo possiamo facilmente ricavare dai consimili che i pescatori di un villaggio del Giappone hanno continuato a costruire per secoli, sempre con i

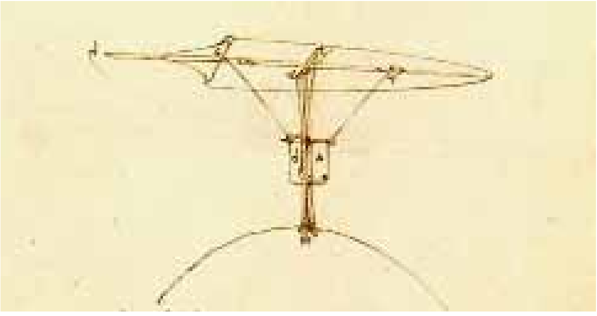


In alto e sopra: *Costruzione e molleggio di un aquilone gigante, in due foto degli inizi del XX sec..*

medesimi materiali, bambù e carta. Per l'esattezza fino al 1914, fortunatamente ancora in tempo per lasciarne un'indiscutibile memoria fotografica. Non può pertanto escludersi che la notizia della loro esistenza giungesse in occidente lungo la via della seta, fornendo ad Archita il presupposto per il suo aquilone. Con Marco Polo finisce l'incertezza ed inizia l'emulazione: in maniera alquanto confusa sappiamo, perciò, che aquiloni con equipaggio vennero costruiti e fatti innalzare persino a Roma tra il XIV ed il XV secolo. Improbo tentare di approfondire lo scarno dato: vuoi perché il tentativo si dimostrò fallimentare vuoi, al contrario, perché riuscì brillantemente, ed è l'ipotesi più probabile, sull'episodio cadde il più assoluto silenzio. Del resto non occorre una grande fantasia per immaginarne le implicanze religiose in un contesto di superstizioso fanatismo.

1.5.2 La lunga messa a punto di un'idea giusta

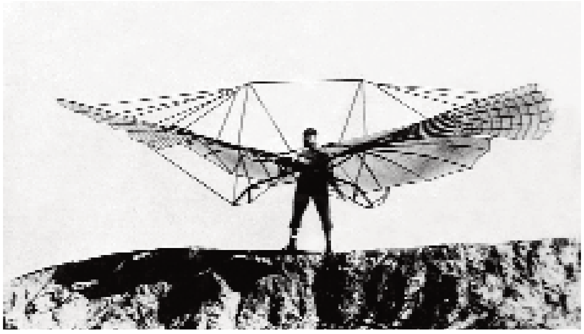
Non può, tuttavia, escludersi che l'eco di tali esperimenti giunse in qualche modo alle orecchie di Leonardo da Vinci, che in alcuni suoi disegni sembra rievocarle. A differenza dei congegni per volare dedotti dagli uccelli quei grafici ricordano, invece, un aquilone o un antesignano deltaplano. Soluzione per il volo lontanissima dal battito delle ali e dalle viti aeree. E questa volta quelle promettenti ricerche non mancarono, al di là di un ufficiale disinteresse, di coinvolgere la dirigenza

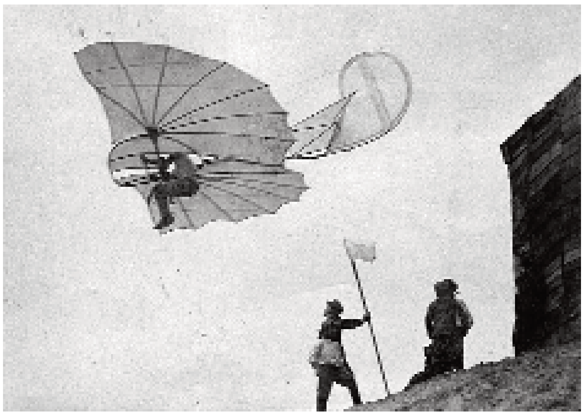


Sopra: *Una delle macchine volanti di Leonardo da Vinci, simile ad un moderno deltaplano.*
In basso a sinistra: *Due fotogrammi che ritraggono Otto Lilienthal mentre si accinge al volo e prova un deltaplano.*
In basso a destra: *Un moderno deltaplano in volo.*

militare che ne intuì subito la portata in ambito bellico.

A differenza di quanto verificatosi in Cina, le fasi dello sviluppo e dell'impiego degli aquiloni giganti in Europa risultano abbastanza ben documentate, sebbene alquanto distanziate. Il debutto sembrerebbe coincidere con l'arrivo dell'aquilone a losanga, attribuito ad alcuni mercanti olandesi intorno al '500. Giambattista della Porta ce ne tramanda qualche immagine nel suo *Magiae Naturalis*, stampato a Napoli nel 1558. Nel 1634 è la volta di Johnn Bate che pubblica in Inghilterra *The Mysterires of Nature and Art* in cui, non solo descrive dettagliatamente un aquilone del genere, ma ne torna a suggerire l'impiego militare. In particolare immagina che sarebbe possibile applicarvi delle piccole cariche di polvere pirica alla coda, facendole cadere ed esplodere tramite una miccia a lenta combustione. Si trattava della rielaborazione di quanto già effettuato dai Cinesi, quasi mezzo millennio prima. Per uscire dalle elucubrazioni e vedere in Occidente sollevarsi un uomo da terra con un aquilone bisogna attendere l'apparecchio del Baden-Powell, da lui denominato *Levitor Kite*, che nel 1894 sollevò il suo pilota fino ad una trentina di metri. La prestazione deluse le aspettative della dirigenza militare ed il progetto non ebbe seguito. Pochi mesi dopo, Otto Lilienthal effettuò il primo volo planato, con un singolare ibrido di aliante-aquilone, molto simile ai remoti disegni di Leonardo, sul quale perderà la vita in un incidente di volo nel 1896.





Nel 1906 un altro aquilone, realizzato da Samuel Franklin Code, dalla curiosa forma di pipistrello consentirà un'ascensione fino ad un migliaio di metri di quota: ma ormai l'aereo a motore stava per decollare, ponendo fine a quella ultramillenaria avventura. Il canto del cigno del volo librato si ebbe nel corso della II guerra mondiale, con una variante abbastanza sofistica elaborata dalla *Kriegs Marine* germanica per essere utilizzata sugli *U-boot*, nell'antica funzione di vedetta aerea. Suo tramite un osservatore, asceso a un centinaio di metri, riusciva a scrutare un vasto settore, comunicando con un apposito telefono quanto scorgeva. Nessuna emissione elettronica che svelasse la posizione del battello, nessuna esigenza di catapulte per il lancio, nessun motore da mettere a punto. Per provocarne l'ascesa era sufficiente il vento naturale, o quello provocato dalla navigazione. Più semplice ancora il recupero, bastando alare con un piccolo verricello la fune di vincolo, al cui interno correva il cavetto telefonico. L'ingegnoso espediente non valse a salvare gli *U-boot* dall'ecatombe, ma fornì pochi decenni dopo

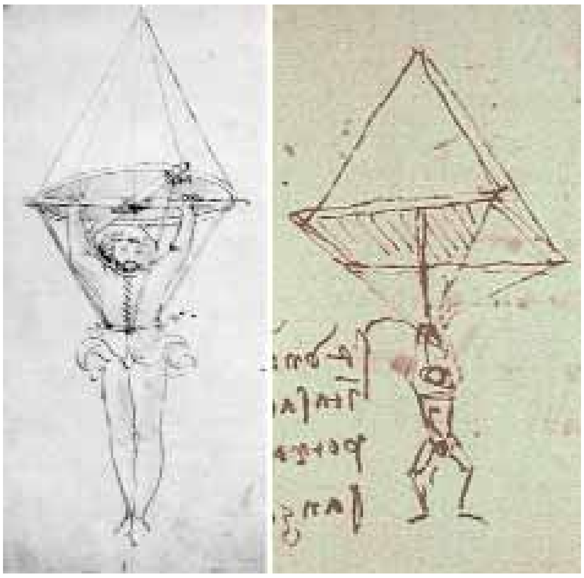
lo spunto per la costruzione dei pittoreschi paracadute ascensionali, che vivacizzano con i loro sgargianti colori le nostre spiagge d'estate.

L'*excursus* appena esposto è giustificato sia dall'importanza che ha rivestito la conquista della terza dimensione terrestre, sia dalla sostanziale sensatezza, come l'ultima generazione di aquiloni ha dimostrato, dei tentativi di volo librato e dei sicuri e molteplici successi registrati nel corso della storia dai suoi tentativi. Lecito pertanto attribuire la lunghissima premessa piuttosto a ragioni filosofiche religiose che tecniche, che spiegano pure il perché dell'assoluto silenzio su quei tentativi, quasi sempre ritenuti per tutte le religioni mediterranee blasfemi. A cominciare da uno in particolare, ricordato in varie versioni, tutte però sostanzialmente concordi sulla sua conclusione: il volo di Simon Mago.

1.6 L'aria forza resistente: il paracadute

Magari non si trattò di un mezzo ascensionale, tipo aquilone o pallone ad aria calda, ma semplicemente un mezzo 'discensionale' capace cioè di consentire delle cadute planate senza conseguenze, da altezze altrimenti mortali. Che apparecchiature del genere esistessero già nell'antichità lo confermano i tanti riferimenti ad acrobati che sbarcavano il lunario gettandosi da alti edifici con approssimati ombrelloni, antesignani paracadute, o rudimentali ali posticce, atterrando per lo più incolumi. Del resto il paracadute che viene attribuito a Leonardo ha un similare precedente, non di forma piramidale ma conica,

Il paracadute disegnato da un anonimo alla metà del XV sec. (sinistra) e quello di Leonardo da Vinci (destra).



Raffigurazione di Simon Mago che si getta da un traliccio, come in una esperienza di volo librato.

esito delle medesime fonti.[23] Che poi manovrando un ombrello, noto almeno dal II millennio a.C., se ne constatasse la forte resistenza opposta dall'aria, e quindi la possibilità di frenare una caduta libera, non sembra un'osservazione straordinaria.

Che qualcosa del genere dovette essere nota anche agli inizi del primo secolo d.C., per l'esattezza al tempo di Nerone, lo testimonia la vicenda di Simon Mago. Negli Atti degli Apostoli[24] così è ricordato:

8 - V'era da tempo in città un tale di nome Simone, dedito alla magia, il quale mandava in visibilio la popolazione di Samaria, spacciandosi per un gran personaggio. A lui aderivano tutti, piccoli e grandi, esclamando: "Questi è la potenza di Dio, quella chiamata Grande." Gli davano ascolto perché da molto tempo li aveva fatti strabiliare con le sue magie...

Stando alle fonti, per voler affermare in maniera inoppugnabile la sua capacità superiore, il mago si estrinsecò dinanzi all'imperatore Nerone in una sorta di volo librato, gettandosi da un traliccio fatto appositamente erigere, o forse dalla sommità di un edificio vicino. Stando sempre alle stesse e interessate fonti, sembrerebbe che avesse una specie di *macchina alare*, una probabile variante dell'aquilone o del paracadute: di certo qualcosa non funzionò e si schiantò a terra!

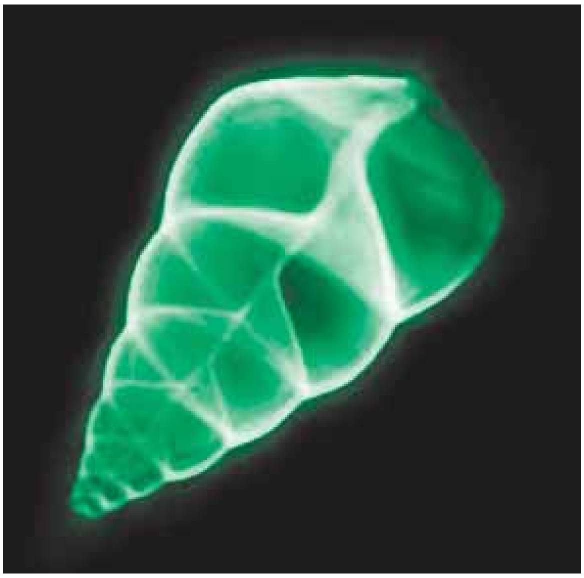
23 Cfr. F. RUSSO, *Leonardo inventore?...*, cit., p. 122-135.
24 Cfr. *Atti degli Apostoli*, cap. 8, 9-10.

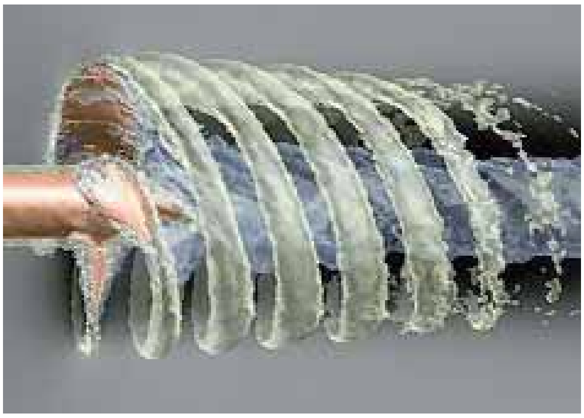
Per i cristiani fu la conferma della giusta punizione che attendeva i blasfemi, per i pagani la riprova di un'idea non ancora utilizzabile. Per restare alle fonti, che in questa ultima parte della vicenda sono alquanto discordi, Simon Mago morì intorno al 64-65, non necessariamente per la caduta. Secondo una versione, infatti, avrebbe tentato un ulteriore esperimento nel corso del quale morì sepolto vivo. Secondo un'altra, invece, dopo la caduta si sarebbe, sebbene fratturato, suicidato per la vergogna. Secondo un'altra ancora, dopo la caduta sarebbe stato soccorso da alcune persone e portato dapprima a Terracina poi ad Ariccia dove alla fine sarebbe deceduto e sepolto. Solo per un'ultima versione, dopo avere fabbricato delle nuove ali sarebbe caduto, questa volta lasciandoci la vita. Probabile che in nessuna vi sia la verità, anche se ad Ariccia esiste una lapide che ne commemora la sepoltura. Probabile pure, per concludere, che si trattasse di un predicatore più o meno eretico e che usasse per catturare nuovi fedeli stupirli con apparenti prestazioni magiche, fra le quali il volo librato grazie a leggere superfici frenanti.

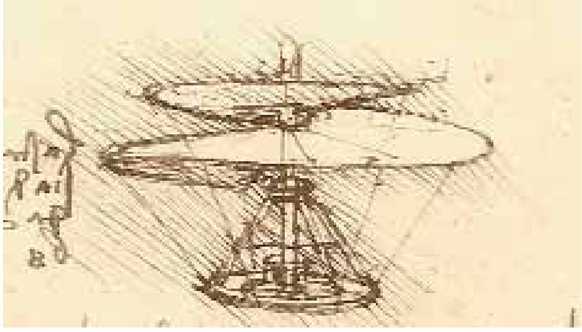
1.7 L'aria forza resistente: lumaca nostrana ed elica cinese

La girante eolica descritta da Erone montava verosimilmente quattro pale, per cui eliminandogliene due contrapposte si sarebbe trasformata in una vera e propria elica. Come in precedenza accennato, l'invenzione della vite, di cui l'elica è una sezione, fu in parte attribuita ad Archita, in parte ad Archimede, fermo restando il principio ispiratore identico per entrambi, tant'è che quella invenzione sempre più spesso veniva, infatti, chiamata con il nome di *elica*, dalla conchiglia del mollusco a cui la tradizione l'attribuiva *elixe*- ελίκη- letteralmente *guscio di lumaca*!

Nessuno però fra i tanti tecnici che si cimentarono nell'antichità con il suo impiego, nelle più svariate fogge e per le più svariate applicazioni, ebbe il sentore che quell'ingegnosa invenzione, opportunamente modificata, avrebbe potuto anche arrampicarsi nel cielo, e se mai la ebbe non ne abbiamo trovato traccia.





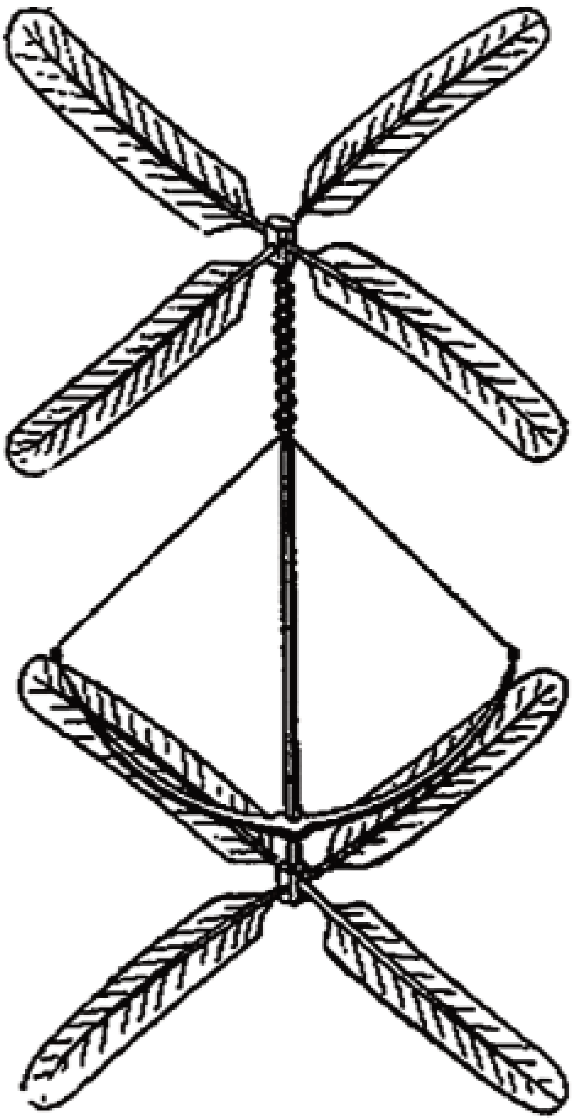


Dall'alto: *La radiografia del guscio di un gasteropode marino; la rotazione di un'elica nell'acqua; la vite aerea di Leonardo.*

Stando ad una suggestiva ipotesi[25], intorno al 1434, il celebre ammiraglio cinese Zheng He, nel suo settimo viaggio sarebbe giunto a Venezia con molti doni e con una modesta aliquota della flotta, in pratica le sole navi più piccole non riuscendo le altre a passare, per le loro colossali dimensioni, nei canali che univano il delta del Nilo al mar Rosso. Per la Storia fu l'ultima delle sue ricognizioni, eseguite per ordine dell'imperatore Ming Xuan De, durante la quale in fase di rientro trovò la morte proprio in quello stesso anno. Fra i regali un curioso giocattolo, noto in Cina dal 400 a.C. e che, dopo quel contatto, si diffonderà rapidamente in Occidente, lasciando una precisa menzione grafica nel 1463. Si trattava di una sorta di piccola elica, ricavata da una assicella di legno: posta

25 Cfr. G. MENZIES*, 1434 The year a magnificent chinese fleet sailed to Italy and ignited Reinaissance,* London 2008.

Sopra: *Confronto tra una delle navi della flotta cinese dell'ammiraglio Zheng He ed una caravella del tipo che utilizzerà Cristoforo Colombo per la traversata atlantica.*
Sotto: *In una antica stampa cinese è raffigurato il giocattolo composto da un'elica posta in rotazione dal rilascio di una corda attorcigliata attorno all'asse e messa in tensione da un archetto.*



in rapida rotazione con lo strappo di una lenza, si sollevava nel cielo! Una vite aerea, considerata a giusta ragione l'archetipo concettuale dell'elicottero e che ebbe nella famosissima vite aerea di Leonardo la sua trasposizione rinascimentale!

2. Respirare e galleggiare

2.1 Le riserve d'aria

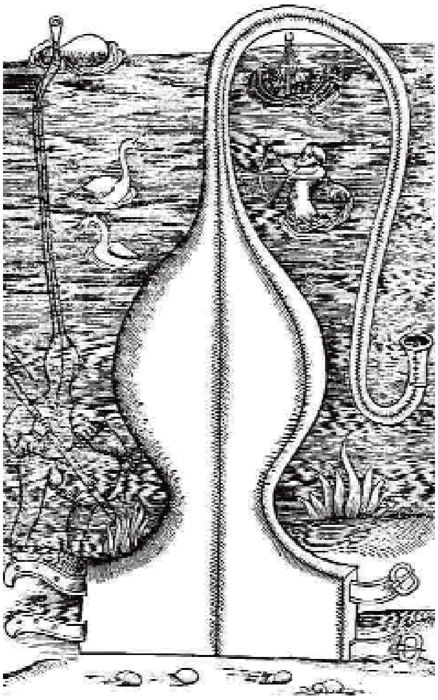
Alcuni singolari bassorilievi assiri, datati al IX secolo a.C., mostrano chiaramente degli uomini che nuotano in acqua, respirando mediante un rudimentale boccaglio da dei grossi otri di pelle colmi d'aria. Per la verità non è possibile distinguere se stiano in superficie o appena al di sotto: data la rilevante spinta di galleggiamento delle vesciche, appare improbabile la seconda ipotesi. D'altro canto, però, se nuotassero all'aria non si comprenderebbe la necessità di tenere in bocca un tubicino collegato con l'otre! Pertanto è sensato concludere che, avvalendosi dell'otre galleggiavano celandosi alla vista, nuotando perciò appena sott'acqua, in affioramento. In ogni caso il criterio di adottare quella capace vescica come una riserva d'aria, al pari delle odierne bombole, è indubbio. In una raffigurazione egiziana, infatti, si vede un sommozzatore che, avvalendosi di un respiratore analogo, sta eseguendo le istruzioni di Cleopatra, mentre Marcantonio pesca, origine secondo alcuni del famoso *pesce d'aprile*! Questa la rievocazione dell'episodio fattane da Plutarco:[26]

(Antonio) "*un giorno stava pescando senza fortuna e ne provava un sentito dispetto essendo presente Cleopatra. Diede ordine allora a dei pescatori di immergersi e nascostamente attaccare al suo amo qualche pesce di quelli che avevano già preso; due o tre volte sollevò così*

26 PLUTARCO, *Vite Parallele*, par. XXIX.

Raffigurazione egizia dell'episodio ricordato da Plutarco.

Sopra: *Bassorilievo assiro con sommozzatori durante un assalto.*
A fianco: *Lapide degli* urinatores*, sommozzatori, romani.*
In basso: *Casco da* urinatores *secondo la ricostruzione di Valturio.*



la lenza. Cleopatra che subito si accorse del trucco, finse di meravigliarsi dell'abilità del pesacatore; lo disse perciò agli amici invitandoli per il giorno dopo ad assistere alla pesca. Molti di loro andarono con le barche: Antonio calò la lenza, e allora Cleopatra ordinò ai suoi sommozzatori di prevenire i pescatori di Antonio, e nuotando sott'acqua fino all'amo, di infilzargli un pesce affumicato del Ponto. Antonio, sentendo di aver preso qualcosa, tirò su la lenza. Scoppio una generale risata, come si può immaginare, e Cleopatra disse: "Mio grande duce, lascia a noi pescatori del Faro e Canopo (Alessandria d'Egitto) *la canna, tu sei cacciatore di città, di regni, di continenti.*"

Aristotele, a sua volta, menzione l'esistenza di un boccaglio verosimilmente di quel tipo, usato dai subacquei per respirare in immersione, paragonandolo alla proboscide dell'elefante con queste parole[27]:

3 - *D'altra parte, quale che sia la grandezza della proboscide, non è per l'elefante meno necessaria alla vita sulla terra o sott'acqua. Infatti i sommozzatori utilizzano alcune volte degli strumenti per respirare e poter restare lungo tempo sul fondo del mare, aspirando l'aria per loro tramite, nella stessa maniera che la natura ha dato in così grande dimensione al naso dell'elefante, per un impiego analogo. Quando gli elefanti vogliono camminare nell'acqua, lo alzano fuori dalla stessa, e respirano così; il tubo dell'elefante, come detto, è il loro naso.*

Non mancano, sin dal V secolo a.C., riferimenti ad azioni di sabotaggio subacqueo: nel 480 a.C., ad

27 ARISTOTELE, *De partibus animalium,* lib. II, 16.

esempio, presso il promontorio dell'Artemisio, un tal Scillo, un uomo rana ateniese, riuscì a tagliare le corde delle ancore, in seguito sostituite da catene, della flotta persiana di cui Plinio[28] ricorda il dipinto che lo raffigura, opera di un certo Androbio:

"*Androbio, dipinse Scillo che taglia le ancore della flotta persiana.*"[A36]

Che fosse un vero subacqueo, e che il nuoto in immersione avvenisse in realtà in affioramento, lo testimonia il profilo lasciatoci da Erodoto[29]:

"*Durante tale operazione Scillo di Scione (era il miglior sommozzatore di allora, arruolato fra le loro truppe* [persiane] *che nel naufragio del Pelio aveva salvato ai Persiani molte ricchezze e di molte si era personalmente appropriato) aveva intenzione, già da tempo di passare ai Greci, ma non ne aveva avuto mai occasione fino a quel momento. In che modo sia poi giunto fra i Greci non sono in grado di dirlo con certezza; ma sarebbe stupefacente se fosse vero ciò che si racconta e cioè che si sia tuffato in mare ad Afete, per riemergere solo all'Artemisio, dopo aver attraversato sott'acqua qualcosa come ottanta stadi* [circa 15 km]".

Similmente durante l'assedio dell'isola *Sfactéria* nel 425 a.C., furono ancora i sommozzatori che garantirono il vettovagliamento alla guarnigione spartana, trascinando degli otri carichi di viveri, operazione così ricordata da Tucidide[30]:

"*Essi avevano anche dei sommozzatori che attraversavano il porto tra le due acque e questi, con una fune, trainavano degli otri carichi di papaveri spalmati di miele e di grani di lino schiacciati. All'inizio passavano inosservati, ma in seguito fu stabilita una stretta sorveglianza per bloccare quel traffico.*"

Più tardi come attesta una iscrizione incisa su di una lastra marmorea rinvenuta presso il *Portus Tiberinus*, anche i Romani ebbero un corpo di *urinatores*, cioè di subacquei specializzati in recuperi da navi affondate ed, all'occorrenza, incursioni insidiose. Il loro curioso nome deriva dal verbo latino arcaico *urinari*, *immergersi.* Plinio, testimoniandone l'esistenza, scrive della loro strana abitudine di immergersi con la bocca piena di olio, per poi sputarlo sul fondo, per rendere più trasparente l'acqua[31]:

"*...in generale viene placato dall'olio, e per questo i sommozzatori ne spargono con la bocca, infatti mitiga l'aspra natura del mare e ridà luce...*"[A37]

In base alle scarne descrizioni di cui disponiamo, sembrerebbe che indossavano un cappuccio o un sacco, un antesignano elmo da palombaro, terminante verso l'alto con un budello. L'irrilevanza della profondità, e forse la brevità del boccaglio, avrebbero in seguito fatto elaborare un casco munito di un tubo, tramite il quale si poteva respirare, essendone l'estremità mantenuta sempre fuori dall'acqua da un galleggiante e forse chiuso da un'apposita valvola. Un antesignano *snorkel* per uomo, propriamente definito *aeratore,* usato frequentemente con la maschera dagli odierni apneisti. La profondità massima che il boccaglio permetteva non supera abitualmente i 50 cm, divenendo la respirazione intorno al metro molto faticosa e, ad una profondità maggiore, del tutto impossibile per la forte pressione. Di un casco siffatto riferiscono sia pure confusamente alcuni scrittori romani, precisando che la sua impermeabilità era modesta. È singolare constatare che il preciso disegno di una muta subacquea siffatta, si ritrovi nel taccuino di Kyeser, un celebre ingegnere militare del XV secolo.[32]

2.2 *La campana pneumatica del maestro di color che sanno*

Numerose raffigurazioni medievali tramandano un curioso Alessandro Magno chiuso in una grossa botte

28 PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. XXXV, 40, 139.
A36 Testo originale Allegato 36, in Allegati.
29 ERODOTO, *Le Storie*, lib. VIII, 8.
30 TUCIDIDE, *Storia della guerra del Peloponneso*, lib. IV, 26.
31 Cfr. PLINIO II, 234, 7. La pratica di gettare olio sul mare per attenuarne il moto ondoso si riscontra ancora nel secolo scorso; quanto alla visibilità maggiore così ottenuta deve supporsi una conseguenza dello smorzarsi del moto ondoso alla scarsa profondità in cui operavano gli *urinatores*.

A37 Testo originale Allegato 37, in Allegati.
32 Sulla figura e l'opera di Konrad Kyeser cfr. B. GILLE, *Leonardo e gli ingegneri del Rinascimento*, Varese 1972, pp. 63-77.

Raffigurazione tratta da un codice medievale dell'immersione di Alessandro Magno.

Sopra: *Altra raffigurazione dell'immersione di Alessandro Magno.*
Sotto: *Ricostruzione di un'antica campane subacquea.*

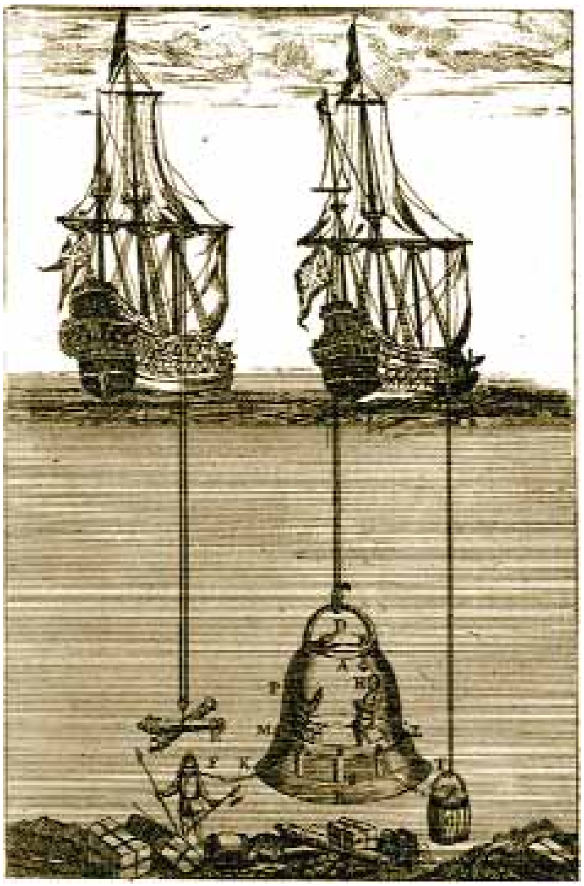
immersa nel mare, ingenue rappresentazioni di una sua straordinaria esperienza subacquea. Si tratta, infatti, di un'immersione avvenuta durante l'assedio di Tiro, allorquando in compagnia di Nearco, comandante della flotta macedone, con l'ausilio di una avveniristica campana pneumatica potè esaminare le ostruzioni subacquee nemiche. Forse dei pali conficcati sul fondo, forse delle catene tese, forse dei macigni affondati: in ogni caso ostacoli insidiosi destinati a sfondare le carene delle navi che avessero tentato di accostarsi alle mura per batterle con le loro artiglierie. In linea di massima una campana pneumatica d'età classica si deve immaginare costituita da un contenitore, di pesanti doghe di quercia o di spesso bronzo, simile perciò ad una campana propriamente detta o a un grosso tino rovesciato. Sospesa per l'apice a delle funi, debitamente zavorrata, viene fatta lentamente affondare: l'acqua entrandovi dal fondo, si arresta quando comprimendo l'aria che vi è all'interno, la costringe alla sua stessa pressione. A quel punto si può restare al suo interno, o tornarvi per respirare, finché non vi si sia esaurito completamente l'ossigeno. Il soggiorno, pertanto, varia con il variare del volume della campana e della profondità raggiunta, ma non può mai essere molto lungo.

Stando alle fonti, mai come in questo caso nebulose, nel 325 a.C. Alessandro avrebbe fatto costruire, forse su consiglio di Aristotele, un mezzo per l'esplorazione subacquea che, a tutti gli effetti, potrebbe considerarsi l'archetipo della campana subacquea. Il filosofo, infatti, così ricordava quella sorta di grossa caldaia rovesciata, già usata dai pescatori di spugne:[33]

"*affinché i pescatori di spugne possano respirare facilmente, si cala una caldaia, non piena d'acqua ma di aria, che aiuta costantemente l'uomo immerso; è necessario mantenere il recipiente dritto mentre scende per impedire all'aria di fuoriuscirne e all'acqua di entrarvi.*"

La campana fatta costruire da Alessandro, prendeva spunto da quella dei pescatori ma era di notevoli dimensioni e complessità. Consisteva in una sorta di enorme botte, alta un paio di metri e larga quasi il doppio, uno scafo a doghe completamente chiuso, tranne che per l'unica apertura inferiore, ed a perfetta tenuta stagna. Alcuni piccoli fori, muniti di vetri trasparenti, permettevano la visione dell'esterno, mentre all'interno vi erano una panca anulare, delle mensole per il deposito di abiti asciutti e viveri, nonché alcune lampade. Una pesante zavorra annullava

33 ARISTOTELE, *Problematica physica*, XXXII, 5.



Sopra: *Campana subacquea in una stampa rinascimentale in cui è ben evidente il tubo di raccordo.*
Sotto: *Elmo da palombaro.*

la spinta di galleggiamento, e numerose funi ne consentivano il recupero su precisa richiesta dall'interno, forse con il suono di una campanella a bordo collegata con una sottile sagola. Il nome generico che ricevette fu di *skaphe andros*, uomo-barca, da cui in seguito *scafandro*, mentre quello proprio essendo pur sempre un'imbarcazione fu di *Colympha*. Dal momento che, in immersione, l'aria all'interno della campana aveva la stessa pressione dell'acqua all'esterno, inserendovi un tubo collegato ad un boccaglio era possibile uscire sul fondo e muoversi a brevissima distanza dalla stessa, per operare eventuali recuperi. Ovviamente, superata la decina di metri di profondità si sarebbe dovuta effettuare una decompressione, prima di tornare in superficie, ma raramente queste campane scendevano ulteriormente.

Con lo stesso principio, una piccola campana, in pratica poco più di una grossa pentola, fissata intorno alla testa del subacqueo, forse con cinghie intorno alle ascelle, gli consentiva rapide discese e brevissime permanenze sul fondo. Aristotele la chiamò *lebete,* denominazione dei grossi recipienti domestici, generalmente di bronzo, usati per scaldare l'acqua sul fuoco. Per la storia fu il primo elmo da palombaro.

2.3 Ponti e battelli pneumatici

Con involontaria e profetica ironia un celebre etnologo, quasi cinquant'anni or sono, faceva osservare come nessun mezzo più utile di un galleggiante pneumatico, in pratica un otre rigonfio d'aria:"*può essere posto a disposizione di masse umane, migranti o guerreggianti, per l'attraversamento dei corsi d'acqua*."[34] L'equiparare il disordinato incedere di miserabili torme di profughi, all'orgogliosa marcia di eserciti avanzanti può, solo in apparenza, sembrare forzato. Ma basta il frapporsi di un fiume al loro cammino, per restituire ad entrambe le compagini la stessa incertezza sul come guadagnare l'opposta riva. E per entrambe una modesta vescica è stata, per molti millenni, la soluzione per antonomasia.

L'impiego militare di galleggianti per superare fiumi o modesti bracci di mare, infatti, è documentato sin dal II millennio a.C., sebbene la prassi si perda nella notte dei tempi che, mai come in questo caso, l'evoluzione tecnologica ha mutato pochissimo. Circa il criterio informatore è facile immaginare che nel tentativo di rimuovere qualche carogna, dilatata e impigliata

34 Da V. L. GROTTARELLI, *I trasporti e gli scambi,* in *Ethnologica…*, cit., vol. II, pp. 647-652.

In alto: *Otri rigonfi usati come galleggianti per l'attraversamento di un corso d'acqua.*
Al centro: *Otri sulla riva appena gonfiati.*
In basso: *Zattera su otri concettualmente identica a quella raffigurata in un bassorilievo assiro di cui si propone, a fianco, la ricostruzione grafica.*

lungo la riva di un fiume, se ne sia constatata la sua straordinaria capacità di galleggiamento, incomparabilmente superiore a quella tipica dell'animale in vita. Probabile, pure, che la medesima conclusione sia stata tratta dalla esperienza della riluttanza di un otre, appena gonfio, ad immergersi in un pozzo.

Semplice ravvisare in quella resistenza un efficace aiuto per non annegare: un contenitore a doppio uso, per bere quanto necessario per vivere e per non bere quanto sufficiente per morire! Pieno garantiva perciò la sopravvivenza sulla terra, lontani dall'acqua, e vuoto la sopravvivenza sull'acqua, lontani dalla terra. In breve, quella duplice prestazione fece dell'otre una componente imprescindibile della dotazione individuale degli antichi eserciti. L'equipaggiamento di ogni soldato, pertanto, ne includeva sempre uno che veniva svuotato e gonfiato a ogni corso d'acqua che si doveva superare, per essere subito dopo sgonfiato e riempito d'acqua. Per l'attraversamento dei carri, si ricorse a zattere realizzate collocando tavoloni e tronchi, legati fra loro, sopra otri e botti, premessa dei ponti pneumatici fatti nella stessa maniera.

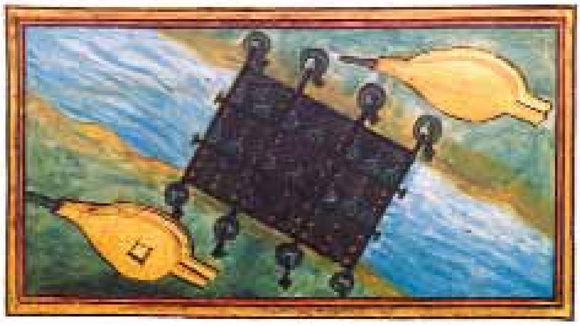
Senofonte, vissuto a cavallo tra la fine del V e la metà del IV secolo a.C., rievoca, forse per primo, nella *Anabasi* l'approntamento d'un ponte siffatto per poter attraversare il Tigri. A proporglielo un oscuro soldato, con questo discorso[35]:

"*O signori, io sono in grado di farvi passare il fiume, quattromila opliti per volta: mi dovrete però fornire di quanto vi chiedo, oltre ad un talento per compenso. Mi occorrono duemila otri; dal momento che si scorgono molti asini, buoi, pecore e capre qui intorno basterà macellarli e scuoiarli, quindi gonfiarne le pelli. Gli otri saranno tutti legati fra loro con le corregge impiegate per le bestie da soma, ed ognuno sarà inoltre ancorato al fondo mediante una fune con una pietra di zavorra. A questo punto ormeggerò la fila degli otri su entrambe le sponde e getterò sugli stessi uno strato di sterpi e del terriccio formando un sentiero. Non annegherete perché ogni otre sostiene due uomini senza affondare.*"

35 Da SENOFONTE, *Anabasi*, lib. III, 5, traduzione F. Ferrari, Milano 1995, pp. 209-11.

L'otre entrò, pertanto, in seguito anche nel repertorio militare romano vuoi come galleggiante individuale, vuoi come zattera, vuoi soprattutto come supporto per ponti d'assalto. Svetonio, ad esempio, afferma che l'incredibile velocità di spostamento delle legioni di Cesare derivasse dagli otri impiegati per attraversare i fiumi. Lo stesso Cesare, del resto, ricordava che nella dotazione d'ordinanza dei Lusitani vi erano appunto degli otri; Plinio dal canto suo ne testimoniò l'uso da parte dei guerrieri arabi e Livio di quelli spagnoli. Intorno al IV secolo della nostra epoca i ponti di circostanza pneumatici erano usuali, come testimonia anche l'Anonimo del *De rebus bellicis* in questo brano:[36]

"*Per evitare che l'ostacolo dei fiumi si frapponga - come spesso accade - a un percorso che l'esercito deve compiere, la necessità che stimola l'ingegno escogitò per questo un rimedio poco dispendioso e altamente pratico, che viene così apprestato. Si conciano pelli di vitello alla maniera degli Arabi… - presso di loro infatti, è diffusa una particolare tecnica di trattamento, poiché attingono acqua dai pozzi con secchi di pelle - dunque con pelli di questo tipo… accuratamente cucite si confezionino otri della grandezza di tre piedi e mezzo in modo che quando questi otri… si saranno gonfiati, non formino protuberanze; al contrario il loro rigonfiamento dovrà produrre una forma piatta, distendendosi in modo uniforme; gli otri saranno collegati l'uno all'altro con cinghie attaccate ai lati nella parte inferiore, mentre, nella parte superiore, degli uncini posti su un lato, saranno agganciati ad anelli; in questo modo tutti gli elementi, collegati tra loro, prendono la forma di un ponte. Questa stessa opera, grazie all'impeto della corrente, si estenderà più facilmente fino all'altra riva, in senso obliquo al fiume; una volta fissati dei pali di ferro sulle due rive*



In alto: *Attuale ponte militare su galleggianti pneumatici.*
Sopra: *Ponte pneumatico del* De rebus bellicis.

36 Da ANONIMO, *De rebus bellicis. Expositio ascogefyri*, cit., pp. 28-30.

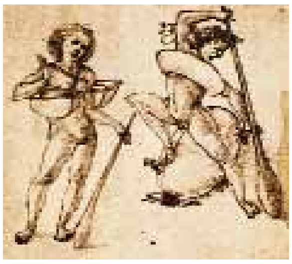
e stese corde robuste nella parte centrale sotto gli stessi otri (per sostenere il peso di coloro che vi passano sopra) e nelle parti laterali (per motivi di stabilità), questa struttura offrirà in breve tempo libera facoltà di attraversare un fiume… Sull'una e sull'altra riva saranno disposte baliste a mano, per evitare che un attacco nemico ostacoli l'opera di coloro che lavorano al ponte."[A38]

Va rilevato che nella relativa raffigurazione compaiono a fianco agli otri dei grossi mantici ad essi collegati. Esplicito il concetto: solo pompando continuamente aria se ne potevano compensare le inevitabili perdite, provocate dai dardi nemici!

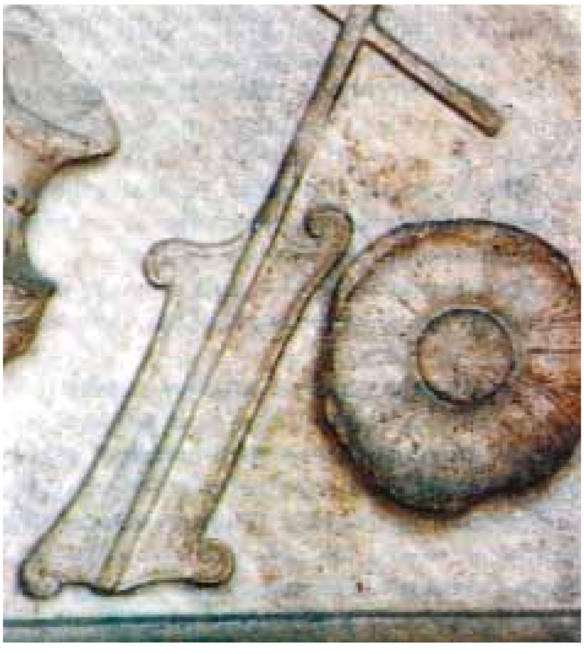
2.4 *Il salvagente pneumatico*

Nei taccuini degli ingegneri rinascimentali, e prima ancora in quelli dei tardo-medievali, compare sistematicamente il salvagente anulare, che sarà anche presente fra gli schizzi di Leonardo. In realtà quell'elementare dispositivo di sicurezza, di sughero prima ancora che pneumatico, risale all'età imperiale ritrovandosene alcune raffigurazioni su bassorilievi celebrativi di vittorie navali. La sua stupefacente modernità formale, trova un vistoso corrispettivo nei bikini indossati dalle ragazze della celebre villa, del IV secolo, di Piazza Armerina.

A38 Testo originale Allegato 38, in Allegati.



Sotto: *Salvagente anulare in un bassorilievo di epoca imperiale. Roma, Musei Capitolini.*
In alto ed al centro a destra: *Il salvagente di epoca rinascimentale nei disegni di Philipp Monch, Leonardo da Vinci e Mariano Taccola.*
A fianco: *Mosaico della villa di Piazza Armerina: ragazza in bikini.*



3. Aria compressa

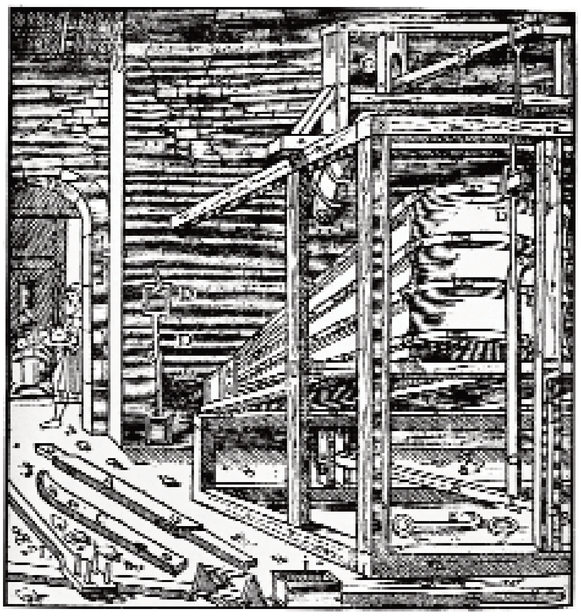
In alcune delle realizzazioni tecnologiche appena esposte è implicito l'uso dell'aria compressa, o la sua formazione, sia pure a pressione estremamente modesta: così nella campana subacquea, negli otri galleggianti o nei ponti pneumatici. Ma nell'antichità vi erano molti altri impieghi ancora che richiedevano, tassativamente, l'impiego di aria a pressione superiore a quella ambientale, come nei forni fusori o nelle forge dei fabbri in genere, implicando perciò congegni capaci di produrla nella quantità necessaria. Tanto le fonti scritte che quelle iconiche ce ne hanno tramandati di vario tipo, alcuni dei quali non lontani per concezione dai moderni compressori alternativi a doppio cilindro.

3.1 Aria compressa per la forgia: il mantice

Tra i più importanti impieghi dell'aria compressa, come accennato, spiccano il forno fusorio e la forgia. Si sapeva da tempo, infatti, che insufflando aria sulla brace questa subito sviluppava una temperatura più alta, manifestata dalla maggiore luminosità della fiamma. Nella descrizione del ponte pneumatico, come accennato, l'Anonimo ci tramanda un chiaro riferimento al mantice, dal quale si evince che non differiva gran che dal moderno, ancora usato. Alla stessa conclusione inducono pure alquante fonti iconiche, più o meno esplicite, di epoca romana, confermando che l'oggetto non subì significative modifiche in età medievale e moderna.

La produzione dell'aria compressa può avvenire, ora come allora, soltanto facendo diminuire il volume del contenitore: la soluzione più semplice consisteva nello schiacciare un otre o una vescica di adeguate dimensioni. Per continuare, però, si doveva poter ripetere l'azione, ovviamente dopo aver riportato il contenitore alla forma iniziale: operazione molto più laboriosa della precedente. Si giunse, pertanto, ad una razionale conclusione per la quale la fase di compressione doveva risultare simmetrica da quella di aspirazione, anche sotto il profilo dinamico.

Sopra: *Mantici rinascimentali raffigurati in una stampa coeva.*
Sotto: *La costruzione dei grandi mantici da fonderia.*
In basso a sinistra: *Un moderno mantice a soffietto.*



Un contenitore dal volume variabile che veniva aumentato o ridotto della stessa quantità, in modo semplicissimo, invertendo la manovra, esattamente come si faceva con una tenaglia. La soluzione fu trovata accoppiando, tramite una fascia di pelle, ermeticamente, due guance di legno munite di manici e di due aperture: non a caso il suo nome deriva dal greco *mandake*, pelle. Il foro più piccolo, simile ad un lungo ugello conico di metallo in corrispondenza della cerniera, fungeva da scarico dell'aria, e la sua estremità si portava quasi a contatto con la brace; il più grande, circolare, posto in corrispondenza del centro di una guancia e munito all'interno di una linguetta mobile fungente da valvola di non ritorno, garantiva il prelievo dell'aria. Divaricando le due guance si aspirava l'aria, dopo di che serrandole, bloccandosi la valvola, la si costringeva ad uscire con una lieve pressione dall'ugello.

Quel modesto congegno, prodotto in tutte le fogge e in tutte le grandezze, trovò innumerevoli ulteriori impieghi: se ne realizzarono di minuscoli per il focolare domestico e di enormi per le grandi forge, per attizzare le fiamme o per ricambiare l'aria. Alcuni si usano ancora, anche per gonfiare i canotti o le camere d'aria di biciclette! Vi era però, specie nell'uso metallurgico e minerario, un grave inconveniente: la mancata emissione durante la fase di aspirazione, in pratica un regime a singhiozzo, deleterio alla ottimale combustione. L'aspirazione, inoltre, avvenendo pure dall'ugello finiva per risucchiare aria rovente all'interno del mantice, bruciandolo rapidamente. La soluzione escogitata fu forse mutuata dal lanciafiamme navale descritto da Tucidide, più avanti esposto, e consistette nell'accoppiare due mantici per farli funzionare alternativamente, facendogli emettere dal loro unico ugello un flusso ininterrotto, sebbene sempre pulsante. È probabile che per evitare sfasamenti durante la manovra si fissassero le opposte estremità dei manici ad un bilanciere, per cui quando il primo si sollevava il secondo si abbassava.

3.2 Il mantice a stantuffo

Il vero limite del mantice a soffietto derivava dalla necessità di incrementarne notevolmente le dimensioni per una maggiore produzione d'aria compressa, con ovvie conseguenti perdite fra le giunzioni del soffietto con le guance. Si spiega forse così il perché dell'adozione nell'organo ad acqua, di gran lunga più piccolo di quello medievale, di una pompa a doppio effetto, cioè di un compressore a cilindri e stantuffi. Questo, infatti, non solo poteva fornire molta più aria

In alto: *Bassorilievo indiano raffigurante un mantice a doppio cilindro senza alcun bilanciere.*
Sopra: *Mantice ricavato da canne di bambù, a doppio cilindro senza bilanciere.*

a parità d'ingombro, ma poteva farlo in due modi diversi: incrementando la lunghezza dei cilindri o il loro diametro. Il vantaggio, pertanto, nelle attività industriali fu subito evidente, tant'è che Polibio: "*ci parla di nuovi mantici da fabbro, forse connessi con la*

pompa di Ctesibio... [per cui, (nota n°63), dal momento che] *i più antichi mantici da fabbro usati in Estremo Oriente erano similari alla pompa di Ctesibio ed erano quindi probabilmente di origine ellenistica, l'ipotesi che i mantici di cui parla Polibio fossero dello stesso tipo è plausibile.*"[37]

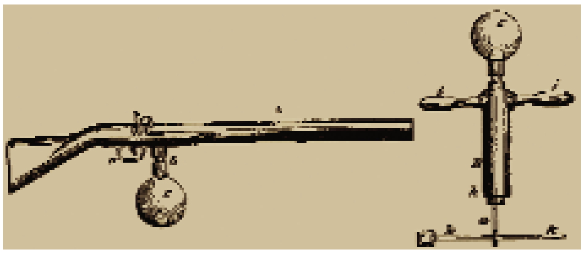
Una verifica in tal senso, del resto, la si può cogliere nell'attività siderurgica svolta in alcune tribù primitive, dove l'aria necessaria alla forgia è insufflata tramite un mantice costituito da due canne di bambù, o di legno, munite di stantuffi sempre di legno, le cui bielle rigide sono alzate ed abbassate con entrambe le mani, in modo ritmico ad orecchio, mancando un raccordo qualsiasi fra le due. Dispositivo che ricorda, sia pure in modo archetipale, la pompa di Ctesibio, che se ne discosta non tanto per essere di bronzo quanto per montare coppie di valvole automatiche e, soprattutto, il bilanciere.

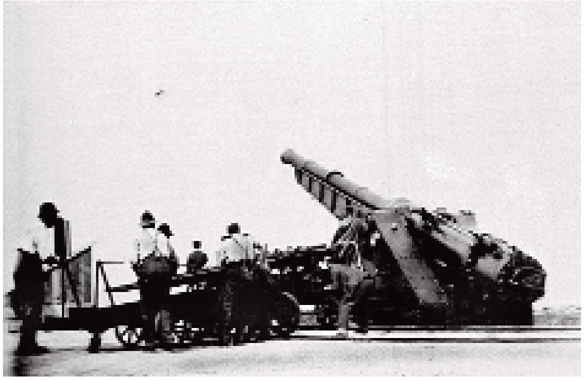
3.3 *Armi pneumatiche*

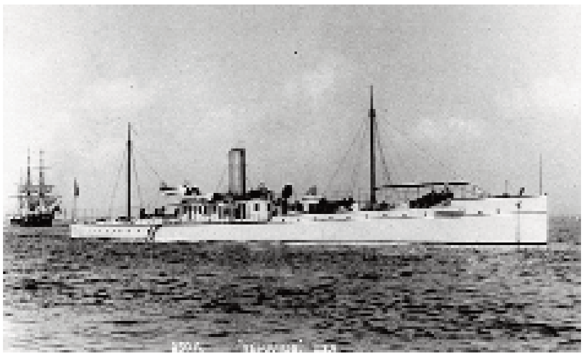
Per assurdo che possa sembrare, la più remota modalità balistica adottata per scagliare proietti, implicava l'impiego dell'aria compressa. Prima ancora della roteante fionda, del flessibile arco semplice e, forse, persino della zagaglia, la specie umana, e non solo lei, imparò a colpire un bersaglio ravvicinato con un getto di saliva o con un leggero nocciolo, espellendoli con un violento sbuffo d'aria dalle labbra. Un principio informatore estremamente semplice, nella sua essenzialità, ma estremamente complesso da sfruttare in modo efficace, da trasformare cioè in un'arma o in un utensile. In un ambito storico imprecisabile, ma primordiale, alcune etnie ci riuscirono realizzando un propulsore, sofisticatissimo nella sua apparente ingenuità, perfettamente congruo al relativo contesto d'impiego. Per uscire dal generico, si tratta della cerbottana, una sottile canna dalla quale viene espulso un piccolissimo dardo, tramite un violento sbuffo emesso dai polmoni del tiratore. Quanto sia complessa lo suggerisce la linearità della canna lunga circa 4 m; la perfetta tenuta del dardo, conseguita con esili guarnizioni e, non ultimo, la sua letalità immediata, ricavata dal curaro. Ad eccezione di quest'ultima peculiarità, nella cerbottana sono presenti tutti i criteri dell'arma da fuoco: un gas che si espande istantaneamente in una canna, un proietto aderente alla sua anima che viene accelerato, e una punteria per traguardo. L'espansione, tuttavia, non essendo esito di

Traliccio utilizzato nel secolo scorso per la costruzione delle cerbottane da popolazione nel sud est asiatico.

37 Da L. RUSSO, *La rivoluzione...*, cit., p. 192 nota n° 63. POLIBIO, *Historiae*, XXI, 28. 15.







Dall'alto: *un indigeno che tira con una cerbottana; un fucile ad aria compressa del XVIII sec. definito a vento in una stampa coeva; un cannone ad aria compressa in una stampa ottocentesca; l'incrociatore Vesuvius della US Navy, armato con una torretta trinata di cannoni ad aria compressa, del XIX sec..*

un'istantanea combustione, come per la polvere pirica, non consente di includere quella arcaica arma fra le moderne da fuoco, ma soltanto fra quelle ad aria compressa.[38]

Dal punto di vista etnologico, la cerbottana si reputa il più recente congegno di lancio individuale ma non un'arma da lancio, essendo la letalità del suo proietto, peraltro l'arma propriamente detta, esito non dell'energia residua dell'impatto ma del veleno di cui è intriso. Il che obbliga a posticipare l'avvento di un'arma funzionante ad aria compressa fin quasi all'età moderna, per l'esattezza alla prima metà del XVII secolo, nonostante sia esistita ed abbia funzionato una balista azionata dalla spinta dell'aria compressa.

3.3.1 Balista a molle d'aria

L'etichetta di *balista a molle d'aria* calza ottimamente ad una singolare macchina da lancio, inventata e costruita da Ctesibio, dal momento che non può considerarsi una vera arma ad aria compressa, in quanto non v'era alcuna emissione di aria. In altri termini, l'aria certamente si espandeva ma non in una canna dell'arma, di cui non disponeva, né peraltro veniva a contatto, in qualsiasi modo, con il proietto, né, infine, era aspirata dall'esterno prima della compressione, per esservi scaricata subito dopo l'espansione. In quanto tale, l'arma sarebbe da definirsi adiabatica, priva cioè di scambi gassosi con l'esterno: e che tale fosse lo dimostra la totale assenza del boato che, altrimenti, si sarebbe dovuto manifestare all'istante del lancio, di cui invece non vi è alcuna menzione, e che se mai prodotto, per l'epoca, sarebbe risultato persino più terrificante del tiro stesso.[39]

L'aria che agiva nel motore dell'arma, compressa o espansa che fosse, era sempre la stessa già immagazzinata nei cilindri. Forse era reintegrata, all'inizio d'ogni ciclo di compressione, ma durante l'uso variava solo il suo volume precedente e seguente al lancio, esattamente come varia quello di una molla elicoidale in un respingente ferroviario, prima e dopo l'urto!

Perfettamente consapevole di ciò Filone di Bisanzio, nel II secolo a.C.[40], descrivendo l'arma nella sua opera *Belopoeica*, la definì *balista* a *molle d'aria*, un'arma

38 Cfr. V. L. GROTTARELLI, *Le armi*, in *Ethnologica…*, cit., vol. II, pp. 196-204.

39 Cfr. E. BRAVETTA, *L'artiglieria e le sue meraviglie, dalle origini fino ai nostri giorni*, Milano 1919, pp. 51-60.

40 La *Belopoeica* di Filone di Bisanzio è stata tradotta in inglese e pubblicata da E. W. MARSDEN, *Greek and roman artillery. Technical treatises*, New York 1971, pp. 106- 182.

cioè capace di scagliare delle palle di pietra, ulteriore conferma delle ampie potenzialità d'impiego che l'invenzione di Ctesibio permetteva. Questa la sua descrizione:

"Ora noi passeremo preliminarmente e sommariamente ad esporre una breve spiegazione circa quella che si chiamò la catapulta a molle di aria, che in effetti è una balista e successivamente ne approfondiremo in un'altra sezione il meccanismo. Questo congegno inventato sicuramente da Ctesibio, fu un'opera meccanica e fisica eccezionale. Egli osservò nelle cosiddette ESPERIENZE PNEUMATICHE, le quali saranno parimenti trattate da noi in seguito, che l'aria è notevolmente elastica, potente e comprimibile soprattutto quando è stata chiusa in un robusto recipiente. Pertanto essa può essere compressa con forza e, viceversa, espandersi con violenza fino alla grandezza del recipiente. Essendo un ottimo esperto in questioni meccaniche, ritenne che con questa grande tensione e veemenza fosse possibile far muovere dei bracci [di un'arma].

Pertanto costruì dei serbatoi di forma identica ai contenitori per farmaci, [Atramentari- contenitori per farmaci di bronzo alti circa 30 cm per 10-12 di diametro, con coperchio a tenuta ermetica], *prima di cera spessa poi vi gettò il bronzo fuso; esternamente martellò il bronzo perché fosse più resistente alle rilevanti sollecitazioni; poi lavorò la parte interna dell'organo al tornio, la rettificò mediante un regolo, la levigò con l'abrasivo e la lucidò. In questo modo inseriti i cilindri di bronzo l'uno nell'altro potevano compenetrarsi con forza e pressata contro la circonferenza* [del minore una guarnizione] *divenivano loro stessi lisci e precisi. In tal modo il gioco fra cilindro e stantuffo diveniva così perfetto che l'aria pur facendo forza non riusciva a trovare una via d'uscita, anche quando raggiungeva la massima pressione.*

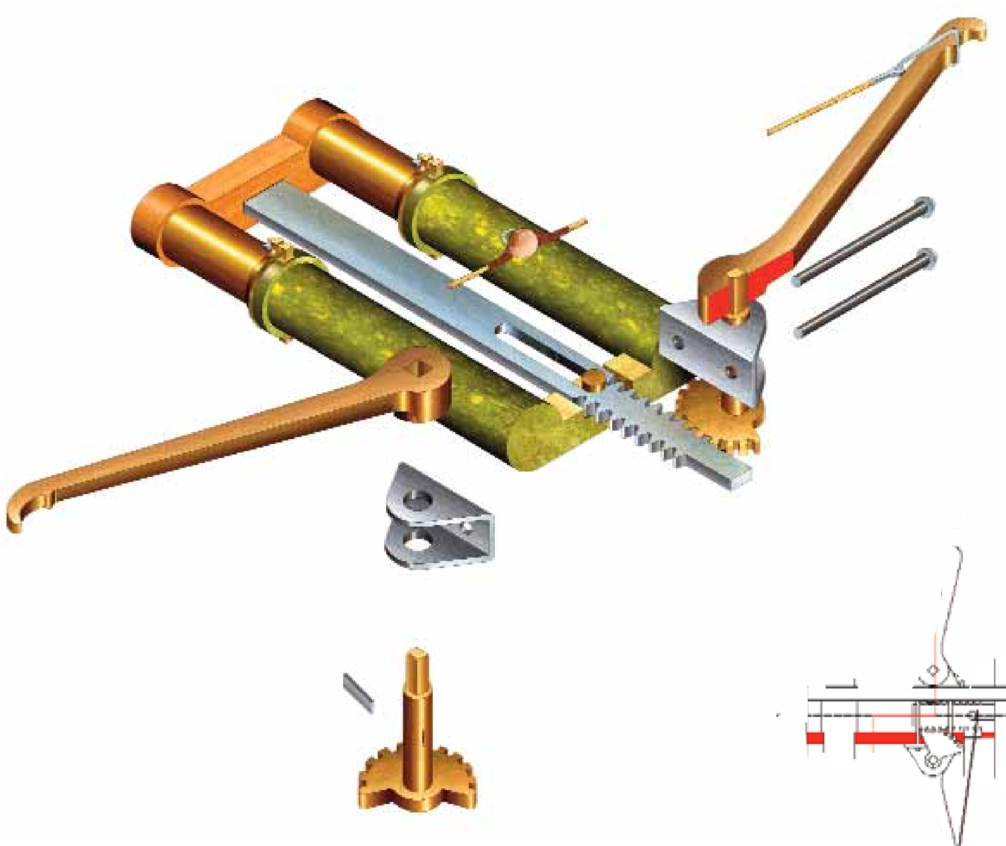
Non meravigliatevi e non abbiate incertezze, sulla fattibilità manuale di quando detto e sulla sua capacità di effettuarla, poiché una simile lavorazione la richiede pure il cilindro sonoro e le campane pneumatiche che lavorano nell'acqua, entrambi fatti in bronzo così come è stato ricordato per questi cilindri. Ctesibio ci spiegò e dimostrò le naturali proprietà dell'aria vale a dire che essa aveva un movimento violento e veloce dipendente dalle caratteristiche del cilindro che la comprimeva. In particolare lui aveva reso levigato il cilindro e con della colla da carpentiere aveva realizzato una bordatura protettiva sopra la sua bocca circolare.

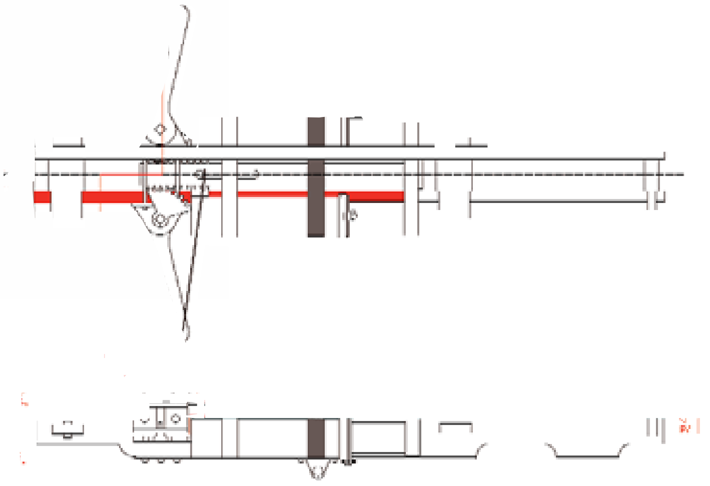
Colpendo con una mazzola un apposito braccio fece entrare dentro lo stantuffo con una grandissima violenza. Fu possibile osservare lo stantuffo scendere progressivamente nel cilindro e quando l'aria che era stata compressa all'interno fu bloccata essa esercitò sul braccio una spinta non minore della più potente matassa elastica. Rimosso il blocco e liberato il braccio lo stantuffo fu espulso con violenza dal cilindro. Successe però che venne fuori anche del fuoco dall'aria che aveva strofinato contro il cilindro nella velocità del suo moto.

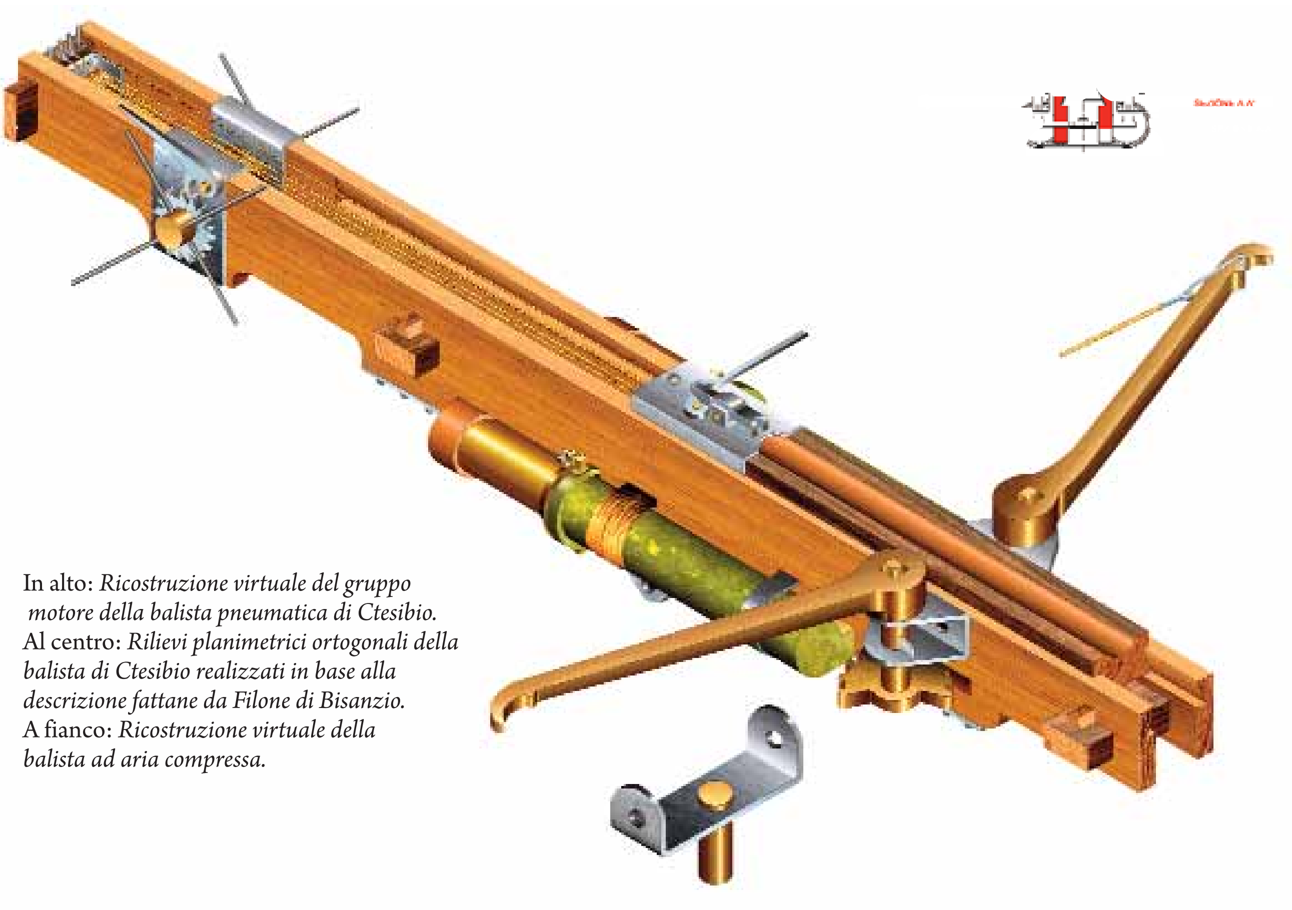
Allestì due di siffatti involucri, nella maniera suddetta, e li costruì di forma identica ad un vaso per unguenti, trapanati e uniti alla base e li rinforzò giungendoli intorno al fusto di legno con legami e cerchiandoli insieme con ceppi di ferro, e non mirò unicamente alla saldezza, ma anche all'estetica, al punto che il congegno sembrava un organo. E ancora alla base dei gomiti applicò degli zoccoli di ferro ricurvi congiunti agli stantuffi. I gomiti erano uguali a quelli che ruotavano intorno alle menzionate molle di bronzo, sostenuti da una forcella di ferro. Quando lui ebbe costruite le parti menzionate allungate attorno alla corda e fissate alla slitta lui fece tirare essa indietro alla maniera degli altri motori.

Quando la corda fu tirata indietro i gomiti premettero la loro montatura contro gli stantuffi facendoli naturalmente rientrare e l'aria cominciò ad andare dentro il cilindro compressa alla maniera che io ho detto ed in una densità enormemente accresciuta fu premuta con il desiderio del suo naturale stato. Nel caricare la palla di pietra e nel rilasciare l'uncino i

Cilindri di bronzo con coperchio semisferico, detti atramentari, per la conservazione dei farmaci.







In alto: *Ricostruzione virtuale del gruppo motore della balista pneumatica di Ctesibio.*
Al centro: *Rilievi planimetrici ortogonali della balista di Ctesibio realizzati in base alla descrizione fattane da Filone di Bisanzio.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale della balista ad aria compressa.*

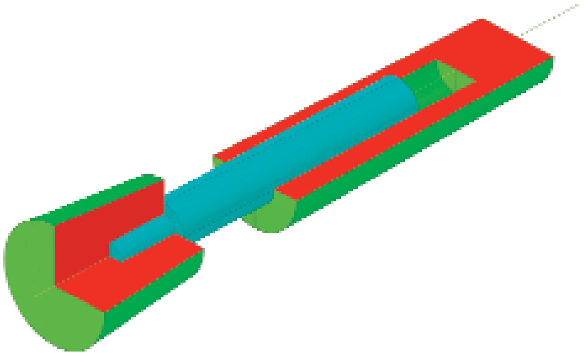
gomiti indietreggiarono con grande potenza e scagliarono via la palla realizzando un tiro realmente soddisfacente.

Così come noi ti abbiamo spiegato il progetto della balista a molle d'aria, e noi siamo stati scrupolosi, noi crediamo che sia auspicabile concludere il nostro trattato sulla costruzione dell'artiglierie e passare ad un'altra sezione dei meccanismi".

In pratica, costruiti dei cilindri abbinati privi di fori e resi solidali fra loro gli stantuffi, il propulsore della balista era pronto. Per la verità sarebbe bastato anche un solo cilindro, ma in tal caso, per ottenere la forza necessaria, avrebbe dovuto avere un diametro e una corsa alquanto maggiori, incompatibili con la geometria dell'arma. Criterio informatore la certezza dell'elasticità dell'aria, esposta con la logica e la terminologia vigente: se l'aria si definiva *spirito*, il suo volume iniziale è ricordato come *grandezza del vaso* e la fase di espansione, successiva alla compressione, come *desiderio dello stato originario*!

Arcaicismi e approssimazioni che non contribuiscono alla facile interpretazione della descrizione, senza però impedirla una volta presa confidenza con il gergario. Si comprende così il riferimento a due coppie di cilindri di bronzo coassiali, nelle quali il diametro interno del maggiore coincide con quello esterno del minore, per una lunghezza sostanzialmente simile. In pratica, due cilindri con due stantuffi di uguale lunghezza, tutti fusi da una accurata matrice di cera. Filone precisa che i cilindri, simili ai coevi contenitori bronzei di farmaci, vennero dapprima martellati esternamente per esaltarne la resistenza e quindi alesati internamente, col trapano, e lucidati. Quanto agli stantuffi ne ricorda l'assoluta precisione garantita dal tornio, anche questa esaltata dalla lucidatura. Dal momento che per quanto minime siano le tolleranze non bastano a impedire perdite di compressione, il ricorso ad apposite guarnizioni è inevitabile: Filone ne menziona, infatti, due, una collocata sulla bocca dei cilindri ed una sulle teste degli stantuffi, in modo da bloccare qualunque fuga d'aria. Erano ottenute con un abbondante strato di colla di pesce, che manteneva un'elasticità gommosa anche da secca.

Proseguendo nell'esposizione Filone ricorda che durante le prove Ctesibio, con un vigoroso colpo di mazzola, fece scendere di scatto lo stantuffo nel cilindro. Fattolo uscire osservò stupito che la sua guarnizione interna aveva preso fuoco! Né lui, né i suoi epigoni, fin quasi all'ingegner Rudolf Diesel, potevano sapere che l'aria sottoposta ad una rapida compressione si riscaldava così fortemente. Nessuno nel II secolo a.C., pertanto, aveva sufficienti



Assonometria sezionata dell'acciarino pneumatico utilizzato da alcune popolazioni primitive.

nozioni per descrivere un prodigio simile, senza averlo personalmente visto! Che poi tale effetto fosse congruo alle potenzialità tecnologiche dell'epoca lo si evince dall'esistenza, presso alcune etnie primitive del sud est asiatico, di un singolare acciarino pneumatico. Formato da una canna di legno nella quale penetra una sorta di stantuffo, anch'esso di legno, al quale viene fissata un'esca, abbassandolo di scatto lo si estrae con l'esca in fiamme. La violenta compressione ne ha provocato l'accensione! Impossibile accertare, oggi, se tra le due macchine vi sia stato nel remoto passato un qualche tramite culturale.[41] Dal fenomeno, pertanto, se ne ricava la veridicità del racconto, la pressione raggiunta dall'aria al termine della compressione e, la plausibile dimensione dei cilindri, appena più grandi degli atramentari, una decina di cm di diametro per una cinquantina di lunghezza. Quanto alla connotazione, sappiamo da Filone che vennero fusi uniti alla base, affinché formando un unico corpo fossero solidali alle sollecitazioni.

Completatane la lavorazione, i due cilindri siamesi, con i rispettivi stantuffi, furono fissati sotto il fusto della balista, tramite delle cerchiature di ferro. La disposizione ipotizzata sembra trovare una convalida nell'osservazione sulla notevole somiglianza di tale balista con un organo. Un giunto, verosimilmente dentato, venne applicato al piede d'entrambi gli stantuffi, non a caso ricordato come *zoccolo*. Quale che fosse consentiva ai due bracci dell'arma, simili per grande approssimazione a quelli della catapulta a molle di bronzo, di farli entrare nei cilindri. Inevitabile il solito verricello di caricamento, con il solito scatto ad arpione oscillante: Filone non lo degna di menzione, confermando perciò la conclusione!

41 Cfr. V. L. GROTTARELLI, *La produzione del fuoco,* in *Ethnologica…*, cit., vol. II, pp. 391-392.

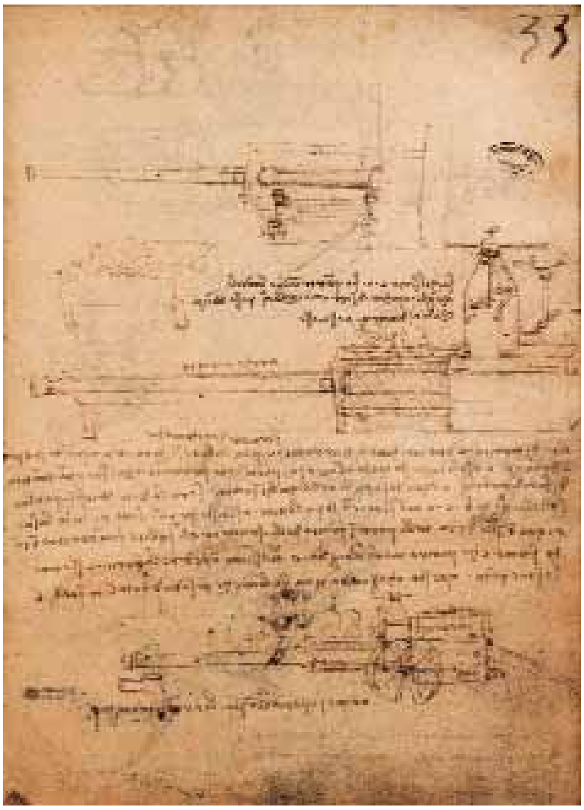
Forse per la sua complessità, forse per la sua improba manutenzione, forse per il suo costo eccessivo non risulta che la balista pneumatica abbia riscosso un vasto successo. Trovò probabile adozione sulle navi da guerra, grazie alla sua assoluta immunità all'acqua; non può, però, escludersi che rimase una semplice curiosità tecnologica.[42] Discorso antitetico in ambito scientifico: quella strana balista, infatti, suscitò sin dal debutto una vasta curiosità che, col tempo, lungi dall'esaurirsi finì per trasformarla in una sorta di leggenda.

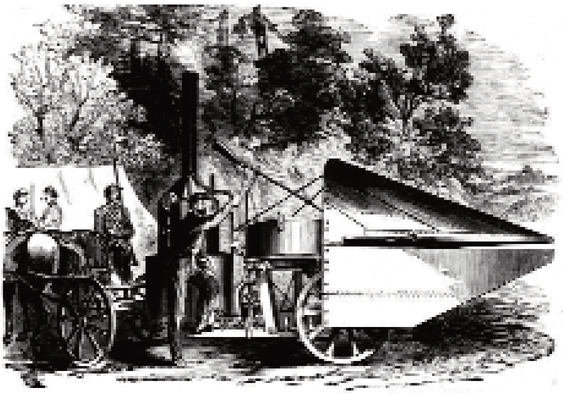
3.3.2 *Architronito*

Appartiene alla stessa famiglia delle armi funzionanti per espansione di un aeriforme anche la misteriosa balista a vapore, che Leonardo da Vinci definì *architronito* e attribuì ad Archimede con queste parole: "*l'architronito è una macchina di fine rame, invenzione di Archimede, e gitta ballotte di ferro con grande strepito e furore.*"[43] Che si debba gratificare di una sufficiente credibilità l'affermazione, lo suggerisce un curioso particolare: fornendo le prestazioni dell'arma, Leonardo non impiega le unità di misura lineari e ponderali dei suoi giorni, né quelle romane che poteva pur sempre conoscere, ma quelle greche ellenistiche a lui, ed ai suoi contemporanei, del tutto ignote. In dettaglio l'arma consisteva in un: "*cannone che dipendeva dall'improvvisa generazione di vapore per sparare il colpo fuori dalla canna. La culatta era costruita in ottone a mo' di cesta contenente i carboni brucianti. Dopo aver ben pigiato il colpo, e dopo aver sufficientemente riscaldata la sezione della culatta, veniva iniettata un po' d'acqua in quella che normalmente sarebbe stata la camera della polvere: 'e si ristopperà di sotto e tutta la sua acqua discenderà nella parte infocata dello strumento, e lì subito si convertirà in tanto fumo che parirà maraviglia; e massime a vedere la furia e sentire lo strepito. Questa cacciava un ballotta, che pesava uno talento, stadi sei'. Le parole di Leonardo confermerebbero il fatto che un tale tipo di cannone era stato in effetti costruito.*"[44]

Nelle unità di misura greche, il *talento* corrispondeva a 60 *mine*, ciascuna delle quali pari a 436.6 grammi: nessuna di queste unità ha un corrispettivo in quelle romane a differenza dello *stadio*, che se

42 Cfr. F. RUSSO e F. RUSSO, *Tormenta navalia…*, cit., pp. 106-117.
43 Da LEONARDO da VINCI, *Ms B*, fol. 33 r.
44 Da B. DIBNER, *Macchine e armi*, in *Leonardo*, Berna 1974, p. 183.





In alto: *L'architronico di Leonardo da Vinci, Ms. B fol. 33r.*
Sopra: *Un cannone a vapore del XIX sec..*

olimpico era di 184 m quando romano e di 125 m quando greco. Per ovvia corrispondenza, un proietto di una trentina di kg scagliato a circa un Km, costituiva una prestazione balistica strabiliante soprattutto se ottenuta senza polvere pirica, anche all'epoca di Leonardo: ma Leonardo non poteva averne esatta contezza ignorando il valore di quelle unità di misura! Per quale altra ragione, avrebbe dovuto usarle se non per averle copiate da un antico codice? Del resto è sempre Leonardo a menzionare un breve soggiorno in Spagna del Siracusano, a noi altrettanto ignoto, attingendolo da una fonte a dir poco misteriosa. In conclusione, che l'architronito fosse un'arma realmente

esistita in epoca ellenistica appare verosimile, tanto più che a partire dall'epoca moderna di cannoni a vapore, basati sul medesimo criterio propulsivo, ne sono stati costruiti numerosi e tutti sempre perfettamente funzionanti.

4. Telegrafia aerea

4.1 L'aria come supporto: le telecomunicazioni

Nel regno animale i rapporti tra viventi sono spesso sanciti da suoni, versi caratteristici e convenzionali, emessi dalle varie specie. Nel caso dell'uomo assunsero lentamente la forma di parole, dapprima poche quindi sempre più numerose per descrivere quanto cadeva e accadeva sotto i sensi, o elaborava il cervello. La comunicazione, pertanto, ebbe subito come suo rigido limite il ristretto raggio di percezione di quei suoni: innalzandone il volume lo si poteva ampliare, ma di molto poco e comunque mai, e nella migliore delle ipotesi, oltre il breve orizzonte visivo. Il ricorso a strumenti sonori capaci di emissioni acustiche notevolmente maggiori fu presto utilizzato, dai più semplici ai più sofisticati: il comune criterio informatore fu che fossero in grado di far vibrare l'aria, ovvero di produrre rumori o suoni di gran lunga più intensi di quelli umani.

A fianco: *Il tam-tam.*
In alto e sopra: *Un gong ed un tamburo.*

Le vie prescelte appaiono diverse, ma possono, sia pure per ampia schematizzazione, ridursi a un paio: strumenti a percussione, in cui l'emissione scaturisce dalla battitura di vari elementi lignei o metallici, quali il gong, la campana, il tamburo o il tam-tam; strumenti aerofoni nei quali, invece, scaturisce dall'esaltazione della vibrazione prodotta dalla espansione dell'aria in apposite cavità, quali ad esempio corni, conchiglie e tubi metallici, da cui corni e trombe.

Ovviamente, se la portata si incrementava sensibilmente la intelligibilità si riduceva persino di più: un suono capace di percorrere chilometri non si prestava ad essere modulato come le parole. Il rullare dei tamburi, dei tam-tam o il rimbombo dei corni, risultava in sostanza uniforme, per cui l'informazione da trasmettersi doveva inevitabilmente essere binaria: affermativa se si udiva il suono, negativa nel silenzio: ben povero il messaggio! Dosando emissioni e pause tornava possibile aggiungere significati ulteriore fra quelli di una ristretta gamma. Il vertice delle potenzialità delle trasmissioni acustiche sembra, ed il condizionale è d'obbligo, che sia stato attinto da Alessandro il Macedone, con un singolare corno, il cui suono era percepito fino a 20 km[45]!

Forse una leggenda, forse un esito straordinario ottenuto in condizioni ambientali ultra propizie, difficile accertarlo mancandoci soprattutto il silenzioso contesto ambientale. Del tutto impossibile, invece, anche il solo tentare di capire in cosa potesse consistere il progetto, propostogli da un abitante di Sidone, per realizzare un sistema di comunicazioni rapido, capace di allacciare per intero il suo immenso impero. Per la velocità prospettata della diffusione dei segnali non fu creduto e la vicenda finì lì.

Le segnalazioni acustiche non scomparvero ma restarono in uso, sia pure con entità ridotte, proprio presso gli eserciti essendo le uniche in grado di essere percepite da moltitudini in qualsiasi circostanza, vuoi nel corso della battaglia, vuoi durante la notte, magari nel sonno. Basti pensare al riguardo che definiamo ancora oggi un segnale che svegli la nostra attenzione *allarme*, ovvero con il grido di correre alle armi, che seguiva l'antico segnale acustico. Lo stesso mitico Faro di Alessandria era munito di antesignane sirene azionate dal vento, che lo rendevano anche udibile a distanza sul mare.

L'Esercito romano istituì degli appositi specialisti e un minuzioso codice per il sistematico impiego dei segnali acustici emessi con trombe e buccine. Da quei reparti derivarono col tempo i complessi musicali militari, che oggi ogni grande unità si pregia di avere.

Simile per molti versi l'impiego dei segnali ottici, che verosimilmente derivò concettualmente dai predetti. Anche con essi si poteva trasmettere un sem-

45 Cfr. AA.VV., *Le trasmissioni dell'Esercito…*, cit., p. 8.

In alto: *Bassorilievo con suonatori di càrnyx.*
Al centro: *Bassorilievo romano con suonatori di corno e tromba di epoca imperiale.*
A fianco: *Una tromba per uso militare del XVII sec..*

In alto: *Ruderi della città di Troia.*
Sopra: *Ruderi di Micene.*
A fianco: *Il corno di Alessandro in una antica stampa.*

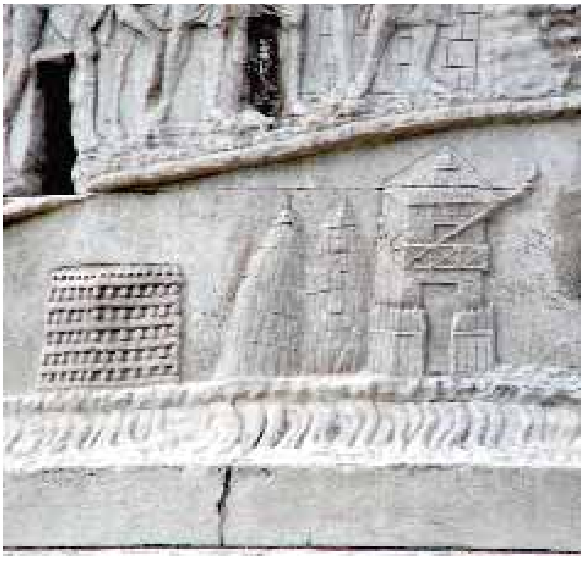
plice segnale uniforme la cui variabilità era data dall'esserci o meno. Di notte con il fuoco e di giorno con il fumo: molto maggiore la portata ma sostanzialmente identica la limitazione e per conseguenza la necessità d'una sia pur rozza codificazione. Sappiamo, ad esempio, che Agamennone trasmise da Troia, appena espugnata, un segnale a fuoco che, rilanciato nella notte da una dozzina di stazioni intermedie, notificò alla moglie, a Micene, il positivo esito nel giro di poche ore, innescando così la sua feroce vendetta. Eschilo, oltre a tramandare l'episodio nell'*Agamennone*, confermando così quanto già sporadicamente cantato da Omero circa l'uso di segnalazioni a fuoco durante la guerra di Troia, ci fornisce pure l'elenco dei ripetitori usati in quel primo e memorabile bollettino della vittoria. Così le sue parole:[46]

"Clitemnestra

Efesto ha fatto sprizzare le fiamme dall'Ida, con una luce splendente. Di torcia in torcia, con la corsa del fuoco, lo ha inviato fin qui. L'Ida [monte Ida m1767] *guarda l'Ermeo,* [monte Ermeo, oggi Rude Herme m 430] *collina di Lemno. Da questa isola, la grande fiamma ha raggiunto la terza stazione, l'Athos* [monte Athos m 2033], *la montagna di Zeus. La forza della luce, gioiosa e rapida, si è lanciata a questo punto, al di sotto del dorso del mare, e come un novello Sole, ha fatto risplendere come il balenio dell'oro l'interno delle caverne del Maciste* [forse monte Kandelion m 1209]. [290] *Da qui, senza ritardi, e senza farsi vincere dal sonno, è stata ritrasmessa la notizia. Il bagliore, proiettato lontano fino all'Euripe, ha annunciato il messaggio ai Messapi* [monte Massapio m 400]*; e questi, a loro volta, hanno bruciato un cumulo di frasche secche, che hanno sollevato la fiamma e fatto correre la notizia. La luce, laboriosa e sincera, ha volato da lì fino alle piane dell'Asopo, come la brillante Luna, fino alla cima del Citerone* [monte Citerone m 1408], *dove ha innescato un nuovo rogo.*

[300] *I vecchi hanno accolto questa fiamma venuta da lontano, ed hanno acceso un rogo ancora più splendente del quale il bagliore, al di sotto del mare di Gorgopide* [palude di Gorgopide], *si è proiettato fino al monte Egiplancto* [monte Geranea m 1360] *ed ha spinto i vecchi a non trascurare il fuoco. Essi hanno ostentato con energia un grande incendio che ha infiammato la costa, e da lì è pervenuto a Saronico* [golfo di Egina], *spandendosi fino a monte Aracneo* [monte Aracnion 1198], *vicino alla città.* [310] *Alla fine questa luce partita dall'Ida è giunta al palazzo*

46 ESCHILO, *Agamennone*, 290-310.



Sopra: *Roma, Colonna Traiana, una torretta semaforica con a fianco la paglia per il fuoco delle segnalazioni.*
Sotto: *Ruderi di torretta semaforica romana in Germania.*
In basso: *Ricostruzione di una torretta della linea lungo i limes.*

degli Atridi. Questi sono i segnali che io avevo disposto per trasmettere la notizia". Col tempo, però, si elaborarono vari espedienti e varie soluzioni per incrementare la portata dei segnali. I Romani raggiunsero risultati talmente ragguardevoli che alcuni studiosi suppongono che: "*l'organizzazione militare riuscì a realizzare, mediante torri di segnalazione, la più importante rete di comunicazione di tutta l'antichità. Roma riusciva a comunicare, grazie a queste torri, con altre 1200 città e presidi della penisola italiana, con altrettanti centri strategici della Gallia, con 300 città nella penisola iberica e con 500 in Asia attraverso una rete il cui sviluppo complessivo raggiungeva ben 60.000 Km".*[47] I ruderi di tali torri sono ancora abbastanza numerosi da garantire, se non altro, la verosimiglianza della ipotesi.

Esaminiamo, secondo il solito criterio della successiva ampia adozione in età contemporanea, alcune delle più frequenti e delle più ingegnose soluzioni escogitate ed impiegate nelle telecomunicazioni in aria del mondo antico.

4.2 Le torrette semaforiche

Plinio, trattando della forma e delle dimensioni della terra, descrive anche la relatività dell'orario. In altri termini anticipa la concezione dei fusi orari e la dimostra servendosi della lunga linea di torrette semaforiche, *turris Hannibalis*, funzionanti lungo la costa iberica. Così al riguardo:[48]

"*Non c'é notte e giorno (pur trattandosi di un fenomeno costante) simultaneamente in tutto il mondo... Lo si è controllato da molte esperienze: in Africa e in Spagna, le torri di Annibale; in Asia, simili osservatori di difesa furono istituiti sotto la spinta del terrore per i pirati, e così ci si accorse più volte che i fuochi di allarme appiccati alla sesta ora del giorno erano scorti alla terza ora notturna da chi si trovava nel punto più arretrato.*"[A39]

Tra la sesta ora del giorno vigente intorno alla prima torre, in media fra le 11 e le 12, e la terza ora della notte dell'ultima, sempre in media fra le 18 e le 19, intercorrevano con l'approssimazione dell'orario coevo almeno 9 ore, intervallo di certo eccessivo per essere attribuito esclusivamente al rilancio del segnale lungo una tratta di alcune migliaia di km, per cui è ovvia la conclusione della relatività dell'orario, antesignana enunciazione dei fusi orari. Ma dove l'informazione di Plinio diviene

47 AA.VV., *Le trasmissioni dell'esercito…*, cit., p. 12.
48 PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. II, 73, 181.
A39 Testo originale Allegato 39, in Allegati.

Ricostruzione virtuale di torretta semaforica romana.

Modello di epoca romana di torretta semaforica.

ancora più interessante, è nel suo testimoniare circa linee di trasmissione semaforiche lunghissime, assurde per un semplice dispositivo d'allarme costiero. Che senso avrebbe avuto, infatti, notificare la presenza di navi pirata ad un migliaio di km di distanza? Logico ritenere che quella fosse solo una delle tante opportunità fornite dalla catena per la trasmissione delle notizie a distanza.

Interessante, inoltre, osservare che nella definizione di *turris Hannibalis* non si deve leggere l'inventore del sistema, di scarsa reputazione per la mentalità romana, ma il fruitore, ovvero il nome dell'autorità che ne aveva deciso l'impianto o che se ne avvaleva, nella fattispecie il condottiero cartaginese. Dal momento che per i Romani la definizione di *turris* si applicava ad ogni struttura a prevalente sviluppo verticale, d'impiego militare o civile, non possiamo stabilire con certezza le connotazioni precipue di tali torri.

Plausibile che essendone il criterio informatore analogo a quello adottato lungo il *limes* del Danubio, anche le torrette fossero simili a quelle scolpite sulla Colonna Traiana di cui l'archeologia ha recuperato le dimensioni di base, circa 5x5 m, nonché gli interassi, fra i 600 ed i 1000 m. Se così fosse ne sapremmo pure la modalità di trasmissione, poiché in diversi pannelli della Colonna, se ne coglie, magari implicitamente, il funzionamento.

Dal punto di vista operativo, infatti, l'adozione d'una balconata che, al primo piano, gira su tre lati della torre ma è accessibile da un unico vano sul lato volto verso l'interno del *limes*, ci suggerisce una interpretazione del loro impiego.[49] Dunque la torcia che sta sistematicamente raffigurata davanti al suddetto vano, può essere spostata lungo la balconata a destra o a sinistra della stessa torre. Frapponendosi però il suo corpo, quando a sinistra non può essere vista da destra e quando a destra da sinistra. In pratica la torcia che in posizione di riposo era visibile da entrambe le direzioni, improvvisamente scompariva per una di esse, notificando così l'avvio della trasmissione nel senso opposto. In altri termini, il segnale di una torre poteva viaggiare in una precisa direzione, per un limitato numero di torri fino a quella reputata capolinea, destinataria del segnale e collegata con le forze di pronto contrasto. Si spiega così il perché dell'utilizzo del primo piano e non di una terrazza in copertura, più alta e più visibile.

La polarizzazione del segnale, e la sua duplice natura diurna e notturna, confermata da covoni di paglia per il fumo e dalle cataste di legna per il fuoco, è la prova della esistenza d'una rete telegrafica militare d'ampia estensione e complessità, nonostante la rozzezza del segnale. Sappiamo tuttavia di altri sistemi di trasmissione, forse impiegati insieme al suddetto, di uno dei quali, almeno, abbiamo una laconica descrizione e una allusiva immagine.

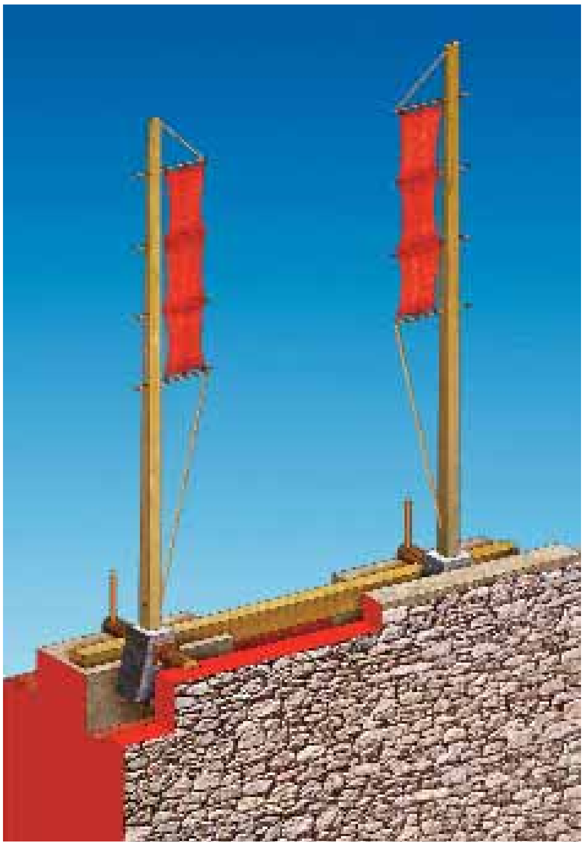
4.3 Il telegrafo ad asta

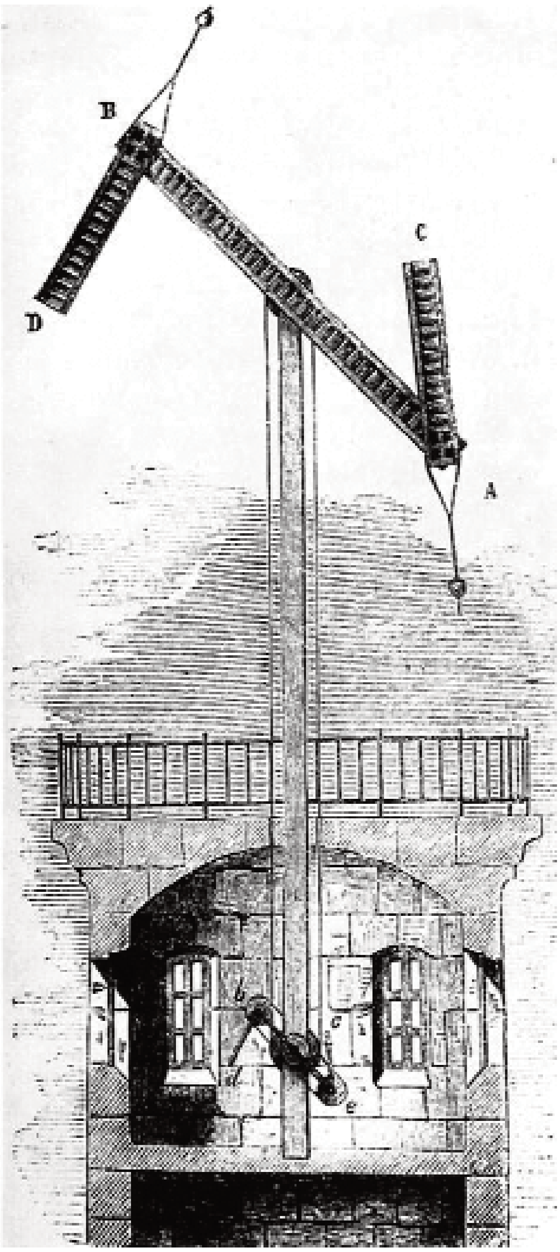
Di gran lunga più valido il dispositivo appena menzionato da Vegezio Flavio, nel suo trattato di arte militare. Così al riguardo[50]:

"*...alcuni sui castelli o sulle torri urbiche collocano delle travi, con le quali tenendole a volte perpendicolari a volte orizzontali, indicano quanto succede...*"[A40]

A suo dire, quindi, sulla sommità di alcune fortificazioni o su apposite torri isolate delle città, stavano spesso collocate due travi, più verosimilmente due aste, capaci di ruotare intorno ad un fulcro. Facendole assumere ora la posizione verticale ora quella orizzontale, si riusciva a trasmettere cosa stesse accadendo. L'idea, di per sé, non può ritenersi una grande novità, riproducendo il sistema di trasmissione a braccia con bandiere, adottato da tempo immemorabile

49 Cfr. F. RUSSO e F. RUSSO, *79 d.C., Rotta su Pompei...*, cit., parte seconda.
50 Da F. R. VEGEZIO, *L'arte militare*, lib. III, 5.
A40 Testo originale Allegato 40, in Allegati.



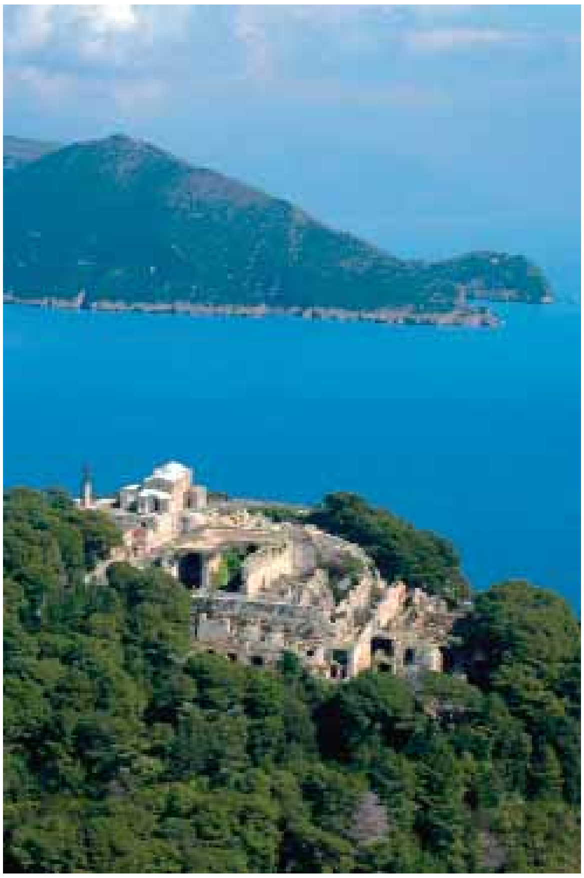


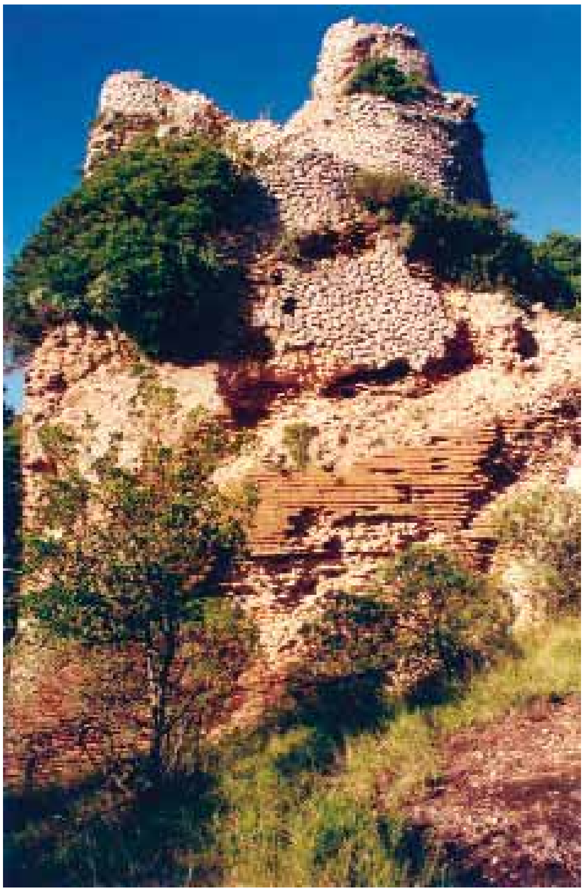
Sopra: *Ricostruzione virtuale del telegrafo ad asta di Vegezio.*
A fianco: *Stampa relativa al telegrafo Chappe, entrato in servizio alla fine del '700.*

sulle navi da guerra e tramandato in numerose raffigurazioni, ma lo diviene per la sua trasformazione in impianto fisso a terra. La sua validità è dimostrata dal telegrafo *Chappe*, più noto come telegrafo ad aste, che iniziò a collegare in Francia tutte le città dal 1792, avviando l'epoca delle telecomunicazioni.

Sebbene di Vegezio Renato Flavio sappiamo ben poco, si ritiene, in base ad alcuni suoi riferimenti impliciti, che sia vissuto nella seconda metà del IV secolo d.C. o, forse, nella prima del V. Quanto espone, pertanto, va considerato più una rievocazione del passato che una descrizione del presente. L'esercito che lui tratteggia è quello dell'apice dell'Impero e non quello ormai raffazzonato e al declino della sua età. Sensato, perciò, concludere che le soluzioni tecnologiche militari da lui ricordate, debbano collocarsi diversi secoli innanzi, forse persino prima dell'istituzione dell'Impero. Il che indurrebbe a retrodatare notevolmente quel singolare dispositivo di teletrasmissione, che di sicuro giocò un ruolo non irrilevante nelle vicende militari e sociali di Roma, come del resto numerose implicite allusioni lasciano ipotizzare.

In pratica va osservato che le aste, ricordate come travi, risultavano visibili a diversi chilometri di distanza, forse fra i 5 ed i 10 in condizioni ottimali di limpidità dell'aria e su sfondo omogeneo come la superficie del mare. Probabile che l'adozione di un tubo fissato nella muratura di una torre ne facilitasse la visione, senza incrementarne però la portata. Con una accorta manovra delle travi, simili forse a vessilli o labari di 5-6 m, mutandone indipendentemente l'inclinazione a scatti di 45° per volta, si riusciva a far corrispondere ad ogni posizione una lettera dell'alfabeto. Possibile, perciò la trasmissione letteraria e con relativa rapidità di un breve dispaccio. Disgraziatamente, la mancanza del cannocchiale obbligava ad impiantare le torrette su alture, od emergenze litoranee, per esaltare la leggibilità del segnale. Connotazione che ne lascia ipotizzare l'impiego soprattutto





in marina, forse anche fra le stesse navi. Del resto, considerando che per ogni stazione occorrevano due o tre uomini, una linea di 200 km ne avrebbe richiesti un centinaio, entità non esagerata se finalizzata al collegamento tra Roma e le sue basi navali. Forse fu proprio alla linea di Miseno che si collegò la villa di Tiberio a Capri, riuscendo così ad avere informazioni quotidiane da Roma durante i dieci anni della residenza dell'imperatore. Così al riguardo Svetonio[51]:

"*Aveva fatto anche tener pronte delle navi perché pensava sovente di fuggire presso qualche legione e stava di continuo a spiare da un'altissima rupe i segnali che aveva ordinato di fargli da lontano, per sapere quello che stava accadendo senza dover attendere dei messi.*"[A41]

Purtroppo l'iconografia romana evitava ritrarre qualsiasi macchina o congegno specialmente quando d'impiego militare: per una singolare eccezione, tuttavia, qualcosa in merito si rintraccia, oltre alle menzionate immagini navali, qualcosa che non potendosi interpretare in nessun altro modo deve per forza riferirsi ad un impianto telegrafico ottico siffatto. Sulle spire della Colonna Traiana, in un pannello marginale si vede una torre, vistosamente circolare, sulla cui copertura si ergono, verticalmente, due aste parallele di rilevante lunghezza. Non si tratta di montanti di una scala a pioli, assurda per la collocazione, né di telai per graticci o schermature lignee, inutili per l'eccessiva ristrettezza della torre, né di orditure per una copertura, impossibili per l'altezza.

Unica e sola spiegazione convincente è che la torre fosse il basamento di un telegrafo ottico e la coppia di aste le famose due travi ricordate da Vegezio per la trasmissione dei dispacci. La stretta affinità, formale e funzionale, con il telegrafo ad aste dei fratelli *Chappe* traspare pienamente confrontando il bassorilievo con alcune stampe ottocentesche di torri cilindriche, adibite a supporto del telegrafo ottico o appositamente costruite per la rete francese.

Il sistema del telegrafo ad aste è ancora usato lungo molte linee ferroviarie.

A fianco: *Ruderi di Villa Jovis a Capri: sullo sfondo Punta della Campanella.*
A fianco, in basso: *Ruderi della specola di Villa Jovis a Capri, usata per le telecomunicazioni.*
Nella pagina a fianco, sopra: *Ipotesi identificativa del telegrafo ad aste sulla Colonna Traiana.*
Nella pagina a fianco, sotto: *Semaforo ad asta di tipo ferroviario.*

51 Cfr. C. SVETONIO TRANQUILLO, *Le vite dei dodici Cesari*, traduzione di A. Vigevano, Milano 1972, p. 107, lib. III, 65.
A41 Testo originale Allegato 41, in Allegati.

4.4 La posta aerea

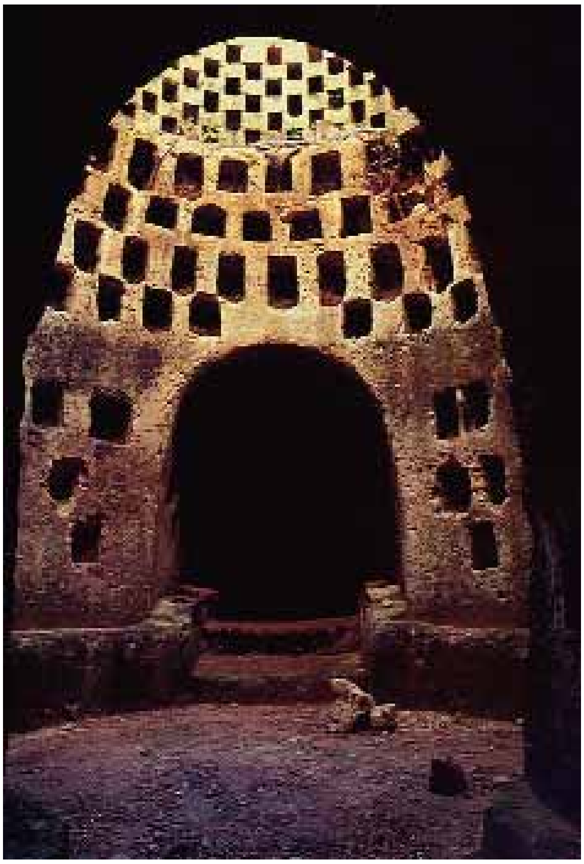
Stupisce non poco osservare, una volta squarciata la coltre di silenzio del tempo, che con mezzi estremamente elementari fossero conseguiti gli stessi risultati ottenuti attualmente con apparecchiature di rilevante complessità. Le navi romane in crociera che volevano comunicare giorno per giorno alla base la situazione, lo potevano fare liberando semplicemente alcuni colombi viaggiatori, dei tanti che trasportavano per tale scopo a bordo, in adeguate cellette. Alla velocità media di una sessantina di km/h, il metodico volatile è capace di percorrere in una sola giornata anche 1000 km, orientandosi perfettamente in modo da rientrare alla sua abituale colombaia. Capacità che venne recepita sin dalla più remota antichità e messa opportunamente a servizio delle operazioni militari . Scrive al riguardo Plinio[52]:

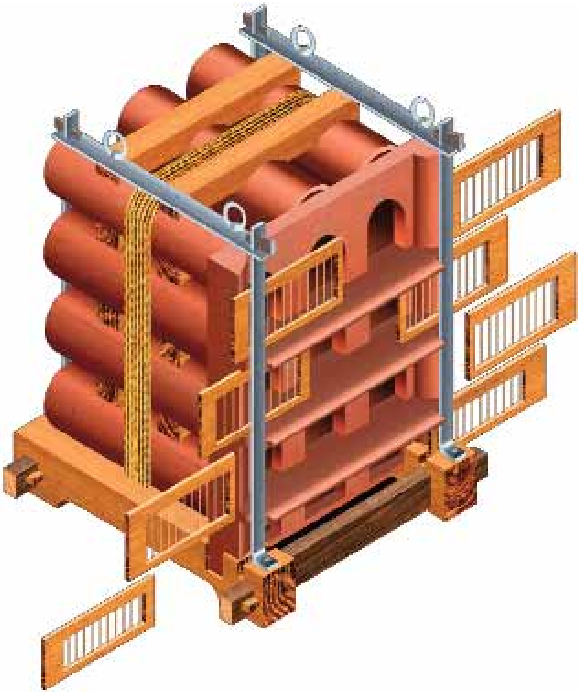
"*I piccioni sono stati anche messaggeri in avvenimenti di grande importanza, ad esempio, quando Decimo Bruto durante l'assedio di Modena mandò al campo dei consoli un dispaccio legato alle loro zampe. A cosa servirono ad Antonio la trincea e la stretta sorveglianza e persino le reti poste nel fiume, quando il messaggero passava attraverso il cielo? Molti perdono la testa per la passione di allevare piccioni. Costruiscono per loro torri sopra i tetti delle case...*"[A42]

Plinio, però, non dice che se i piccioni volarono al campo, o più probabilmente nei suoi immediati paraggi, era perché da lì provenivano, dirigendo il volatile sempre verso la sua abituale dimora. Comportamento che lascia arguire che nella circostanza si fossero utilizzati piccioni in precedenza condotti nella città allo scopo, sia che fossero addestrati per compiti militari sia che fossero di privati cittadini, ma nella fattispecie militarizzati. Circa la prima ipotesi, cioè sull'impiego di colombaie militari, l'archeologia pompeiana ci ha restituito un discreto numero di massicce piastre frontali di terracotta per colombaie portatili, forse così realizzate per semplicità costruttiva e facilità di pulizia. D'altro canto, non avrebbe alcun senso immaginare quei reperti

52 PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. X, 53, 110.
A42 Testo originale Allegato 42, in Allegati.

Un esemplare di colombo "viaggiatore".





In alto: *Resti di colombaia portatile ritrovati nei pressi di Pompei, insieme ad altre analoghe.*
Sopra: *Ricostruzione virtuale di una colombaia portatile.*
In alto, a destra: *Grande colombaia di età medievale, sita nei pressi di Otranto.*
Sopra a destra: *Colombaia mobile dell'Esercito Italiano della seconda guerra mondiale.*

per uso terrestre essendo tipica ed economica la colombaia ricavata con quattro mattoni.

Che le principali basi navali dell'antichità fossero sistematicamente dotate di torri colombaie lo conferma, tra l'altro, la permanenza di tale designazione per costruzioni particolarmente antiche, per tutte la torre di Trapani, detta appunto la *Colombaia.*[53] Va infine osservato che l'impiego di piccioni viaggiatori in ambito militare ebbe vasto seguito ancora nelle prima e nella seconda guerra mondiale, al punto che fino a pochi decenni or sono, allevarli richiedeva un apposito permesso!

53 Cfr. F. RUSSO, *La difesa costiera del Regno di Sicilia dal XVI al XIX secolo*, Roma 1994, vol. I, pp. 87-94.

5. Resistere all'aria

L'aria essendo diatermana si riscalda o si raffredda per il contatto con la terra e, venendo spinta dal vento, trasferisce la sua temperatura da una regione all'altra, per cui può risultare fastidiosa per un eccesso o per l'altro, in piccoli ambienti ed in alcune stagioni. Le nostre finestre sono munite di vetri, spesso doppi, per consentire alla luce ma non all'aria di passare liberamente, funzione per la quale è prevista l'apertura degli infissi solo al momento reputato opportuno, d'estate o d'inverno. Adottare pertanto delle lastre di vetro per evitare sia le correnti che gli sbalzi di temperatura fu, ed è, una maniera per resistere alle influenze dell'aria, introdotta in epoca romana e mai più abbandonata. Affinché, però, fosse alla portata dell'edilizia residenziale bisognò attendere la produzione di lastre abbastanza ampie e di caratteristiche abbastanza omogenee, a prezzi accessibili.

5.1 Le lastre di vetro

La produzione del vetro in epoca imperiale subì degli straordinari progressi, in particolare per quanto concerne la soffiatura, com'è attestato da numerose fonti. La facilità di lavorazione consentì, da un certo momento in poi di soddisfare richieste fino allora del tutto trascurate, relative alla vita quotidiana. Ne scaturì una vastissima gamma di prodotti che andava dagli oggetti domestici a quelli artistici, dai pezzi industriali a quelli tecnici, primi fra tutti le ampie lastre di vetro per gli infissi delle abitazioni e per le loro grandi verande.

Una dettagliata descrizione è quella lasciataci da Plinio il Giovane della sua villa presso Ostia, per l'esattezza presso Castel Fusano:[54]

"La villa è sufficiente alle necessità, non richiede una costosa manutenzione. Sul davanti vi è un atrio semplice, ma non privo di eleganza, segue un portico a forma di D che racchiude una corte, piccola ma graziosa. L'insieme offre un eccellente ricovero per il cattivo tempo, giacché è protetto dalle vetrate e soprattutto dalle grondaie dei tetti."[A43]

Fino a non molti decenni or sono l'esistenza di lastre di vetro nelle finestre delle abitazioni romane, anche delle più sontuose, non veniva presa molto sul serio. Se mai esistita la si considerava piuttosto una eccentricità del proprietario che una diffusa presenza. Gli scavi di Ercolano e di Pompei, invece, hanno dimostrato che l'adozione di lastre era prassi corrente sia che fossero realizzate direttamente di vetro sia di pietra speculare, ovvero di mica.

Lastre di vetro piane per finestre, rinvenute ad Ercolano.

Classico il caso della veranda della Casa dell'Atrio ad Ercolano, *insula* IV n°1-2.[55] In dettaglio si è potuto accertare che un settore dell'ambulacro orientale, che affacciava su di un elegante giardino, era coperto da una tettoia con travi di legno e chiuso da un telaio verticale sempre di legno ma a rettangoli, nei quali stavano inserite le lastre di vetro. Queste, ovviamente, avevano dimensioni relativamente ridotte, comprese fra i 40 ed i 60 cm di lato, attestandosi i reperti pervenutici su di un modulo standard di circa cm 51 x 45, con una colorazione verdastra e un approssimato parallelismo delle facce.

Oltre che in telai di legno, le lastre di vetro erano non di rado montate anche in telai di metallo e mantenute in sito da apposite borchie di bronzo. In alcuni casi furono montate in telai interamente di bronzo, capaci di consentire la totale chiusura di vasti vani e, in diverse circostanze, persino degli intercolumni di un peristilio.

54 PLINIO juniores, *Epistolarum libri decem*, II, XVII.
A43 Testo originale Allegato 43, in Allegati.

55 Cfr. M. PAGANO (a cura di), *Gli scavi di Ercolano*, Pompei 2003, p. 67.

In alto: *Ercolano, ruderi della casa dell'Atrio.*
Sopra: *Ricostruzione veranda vetrata della casa dell'Atrio.*
A fianco, in alto: *Serra romana rinvenuta ad Ercolano.*

La stessa tecnica degli infissi vetrati era usata pure per la costruzione di serre, alcune delle quali sono ricordate mobili, grazie ad appositi carrelli. Plinio e Columella ci hanno tramandato la passione dell'imperatore Tiberio (14-37 d.C.) per i cetrioli: per gustarli in qualsiasi periodo dell'anno si avvaleva di un'ingegnosa serra, decritta anche dallo stesso Columella. Così Plinio:[56]

"*Il cetriolo appartiene al genere cartilaginoso ed esterno al terreno. L'imperatore Tiberio aveva per esso un'incredibile passione: ne mangiava tutti i giorni, e i suoi ortolani lo coltivavano in cassette munite di ruote per spostare le piante al sole e per riportarle, nel periodo invernale, al riparo di lastre speculari...*"[A44]

56 PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. XIX, 23, 64.
A44 Testo originale Allegato 44, in Allegati.

In linea di massima, la serra mobile descritta da Plinio consisteva in un carrello a quattro ruote, di discrete dimensioni, forse m 2.0 x 1.4: all'interno delle sponde per alcune decine di centimetri di spessore, vi era deposto il terreno. Nel corso della notte, o se la temperatura si abbassava sensibilmente, il carrello era infilato come un grande cassetto, in un alloggiamento dalla superficie superiore vetrata. Columella, a sua volta, tramanda un carrello già protetto da lastre di vetro e, quindi, suscettibile di essere spostato soltanto per godere di una migliore esposizione al sole. Ambedue gli esemplari di serra mobile servivano per accelerare la crescita degli ortaggi.

5.2 *La chiusura ermetica*

Hermes secondo la mitologia greca era il dio protettore dei viaggiatori, dei pastori che migrano ciclicamente ed anche dei poeti dall'acuta fantasia, dei commercianti di astuto ingegno e, per ovvio ampliamento, pure di quanti erano dediti alla truffa e, più in generale, dei ladri. Per molti aspetti fu considerato una sorta di archetipo del genio, dell'inventore sia pure di oggetti e procedure sempre connessi all'arte o allo sport. La sua più spiccata peculiarità restò però quella di saper penetrare furtivamente dovunque, sia in senso figurato, interpretando pertanto significati reconditi e conoscenze misteriose, sia in senso materiale, quindi violando porte e cancelli.

In alto: *Statua del dio Hermes.*
Sopra: *Contenitore militare di tipo ermetico.*

Tenendo conto di quest'ultima sua capacità, riuscire a costruire una chiusura o una cassa che si dimostrasse persino per lui impenetrabile, cioè a prova di *Hermes* definizione che divenne in breve *ermetica*, rappresentò una connotazione precisa che sottintendeva che oltre al dio, neppure l'aria poteva entrare.

6. I motori dello stato aeriforme

Con notevoli probabilità le rozze ruote per preghiere tibetane mosse dal vento, furono l'ancestrale prodromo del motore primario. Seguì, con discreto ritardo, il mulino afgano che ne costituì il debutto, perfezionando sotto molti aspetti la medesima idea, fino a fornire un sia pur modesto lavoro.[57] Il loro avvento si deve supporre immediatamente successivo alla corretta percezione della forza dinamica del vento, che in quelle regioni è facilmente verificabile. Tuttavia affinché dalla mera sensazione di strattonamento, si passasse a un impiego pratico mediante un adeguato organo di presa, occorse un tempo lunghissimo, la cui estrema conclusione coincise con il dissolversi della preistoria.

Nel sanscrito si rintraccia l'aggettivo *tur-as* ed il verbo *tur-ami,* col significato rispettivo di *veloce* e di *affrettarsi*. Implicito il senso dinamico della radice *tur,* recuperata dal latino prima e dall'italiano poi, con un significato più stringente di moto veloce e vorticoso, di spostamento rotatorio, precipuo dei cicloni e dei gorghi: *turbine, tornado, tormenta, per-turbazione* e, per analogia figurata, *turbamento* sinonimo di una improvvisa e radicale inversione dello stato d'animo. La stessa radice si ravvisa anche in *turbante,* col riferimento all'avvolgimento intorno al capo di una striscia di tessuto!

La *turbina*, che ben concretizza in meccanica quanto delineato etimologicamente, prima di chiamarsi così fu a lungo semplicemente definita *ruota a pale* o, in relazione al suo impiego prioritario, mulino. In quest'ultima accezione, da intendersi precisamente come il motore di una macchina destinata a macinare, si dovette ben presto specificare se a vento o ad acqua, per restare alle due correnti naturali. Solo in epoca recentissima saranno sostituite da fluidi liquidi o aeriformi, estrema filiazione della originaria bipartizione, obbligando perciò ad una migliore definizione.

Per restare all'arcaica ruota ad asse verticale e pale verticali può considerarsi una macchina abbastanza complessa atta ad intercettare l'energia cinetica del vento e, in seguito, dell'acqua. Un albero azionato da tante leve: alle spalle del congegno l'equiparazione di quelle correnti ad una spinta materiale, prodotta nell'aria da invisibili ed instancabili mani, capaci di fornire un propizio aiuto. A lungo, infatti, lo si sfruttò soltanto per attizzare il fuoco, per asciugare i panni, per cernere i cereali o per seccare i cibi. In pratica il suo debutto fu il mulino afgano.

57 Cfr. L. WHITE jr, *Tecnica…*, cit., p. 151.

Copyright Edizioni Scientifiche e Artistiche - Riservato

Parte Quarta

FUOCO

Stato del Plasma

Militaria mirabilia

L'annuncio della vittoria

Efesto, che lanciò dall'Ida [oggi denominato Kaz Dağı, m 1767 presso l'antica Troia, nell'attuale provincia di Balıkesir, nel nordovest della Turchia] *un rutilo primo fulgore; ed una fiamma accese l'altra fiamma sin qui, grazie all'araldo fuoco. L'Ida all'Ermèa rupe di Lemno* [monte Ermeo, oggi Rude Hermes, m 430]*: da Lemno poi l'Atòo, picco di Giove, terzo accolse la gran fiaccola* [oggi monte Athos m 2033, penisola Calcidica]*; ed alta sovra il dorso del pelago, la furia della lampada in corsa, allegra scaglia la vampa d'oro del Macisto ai vertici simile a un sole [monte Macisto, forse l'attuale monte Kandelion m 1209, in Eubea]: né il Macisto indugia, né la sua parte di messaggio oblia, vinto dal sonno o smemorato. Ed oltre, alle fluenti dell'Eurípo, giunge il balenio del rogo; e del Messapio* [monte Messapio m 400 in Beozia] *giunge ai custodi, che sul fuoco gittano un mucchio d'arida erica, e rispondono col fuoco al fuoco, ed oltre il nunzio inviano.*

E non illanguidita, anzi piú valida, la face, a guisa di lucente luna, valica il pian dell'Asopo, e sui vertici del Cicerone [monte Cicerone m 1408 tra Attica e Beozia]*, un nuovo passo suscita del messaggio di fuoco. E la custodia non repudiò la peregrina luce, anzi ne incese una maggior che l'altre. E il bagliore volò su la palude Gorgonia, e giunto ai picchi d'Egipanto* [forse la sommità dell'isola di Egina m 104]*, scosse le guardie, sí che non mancasse la vampa: accendon quelle, e con grande impeto oltre inviano una gran barba di fiamma, ch'arda e la vetta superi imminente sopra il varco Saronio* [forse il golfo di Egina]*; e irruppe, e giunse su la cima aracnèa, che incombe vigile su la città* [monte Aracneo, oggi Aracnaion, m 1198]*. Di lí venne alla casa degli Atridi* [città di Argo]*, la luce a cui fu avolo il fuoco d'Ida. Per me dunque arse tale corsa di fuochi: l'uno all'altro trasmise il segno; e vinse il primo e l'ultimo.*

La prova eccoti e il segno della nuova che lo sposo da Troia a noi mandò."

ESCHILO, *Agamennone,* primo episodio. Traduzione di E. Romagnoli.

Stralcio satellitare del percorso seguito dal segnale di Agamennone da Troia ad Argo, annunciante la vittoria a Clitemnestra.

Il cannone a vapore di Archimede

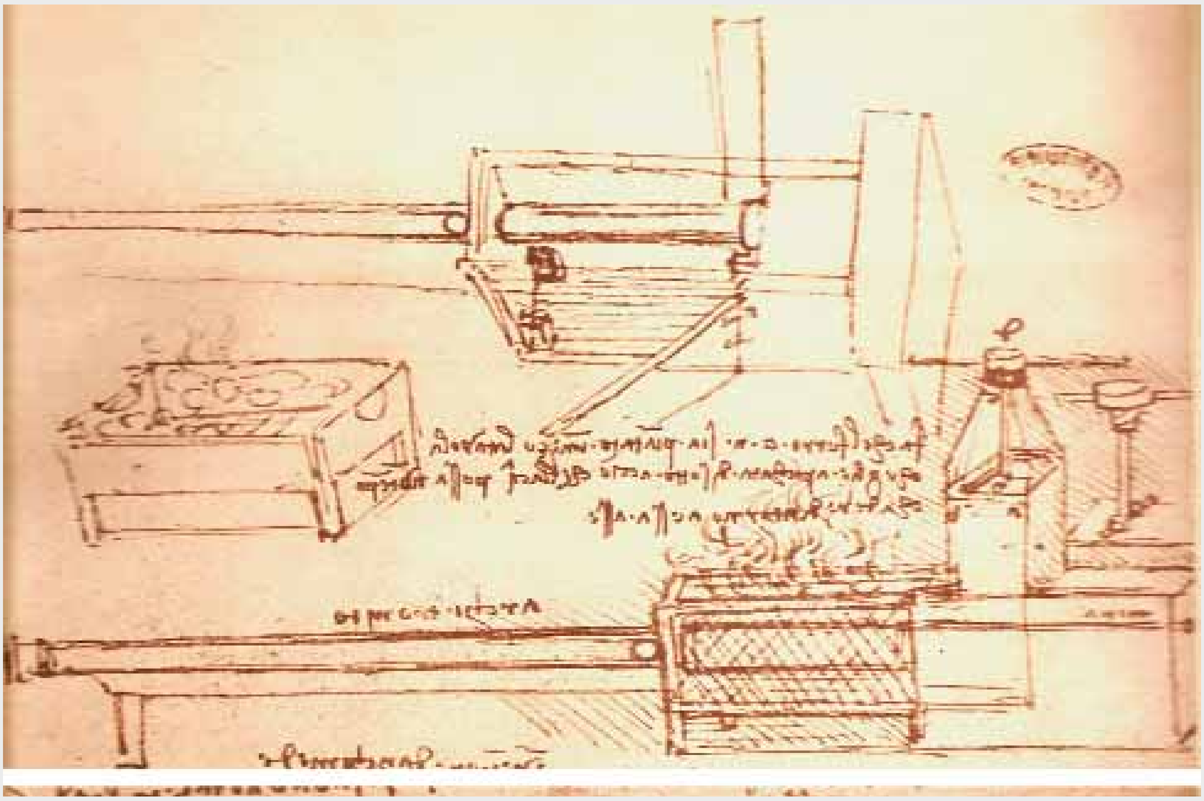
"*Mirum, nisi & glandes aeneas, quae flammis injectis horrisono tonitru jaciuntur. Non erat satis de coelo tonantis ira Dei immortalis, nisi homuncio (O crudelitas juncta superbiae!) de terra etiam tonuisset: non imitabile fulmen (ut Maro ait) Humana rabies imitata est, quod è nubibus mitti solet, ligneo quidem, sed tartareo mittitur instrumento; quod ad Archimede inventum quidam putant, eo tempore, quo Marcellus Syracusas obsidebat; verum ille hoc, ut suorum civium libertatem tueretur, excogitavit, patriae excidium, vel averteret, vel differret: quo vos, ut liberos populos, vel jugo, vel excidio prematis, utimini.*"

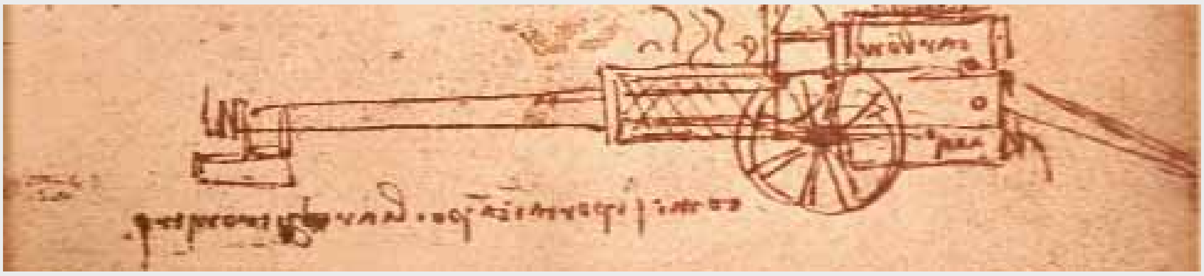
Da Francesco Petrarca, *Utriusque Fortunae,* lib. I, p. 275.

"*Architronito è una macchina di fine rame, invenzione di Archimede, e gitta ballotte di ferro con grande strepito e furore; e usasi in questo modo: la terza parte dello strumento istà infra gran quantità di foco di carbone, e quando sarà bene da quelli infocata, serra la vite d, ch'è sopra al vaso dell'acqua a b c, e nel serare di sopra la vite, e' si distopperà di sotto, e caduta la sua acqua discenderà nella parte infocata dello strumento, e li subito si convertirà in tanto fumo, che parirà meraviglia, e massime a vedere la furia e sentire lo strepito; questa cacciava una ballotta, che pesava uno talento, a stadi 6.*"

Da Leonardo da Vinci, ms B, fol. 33r.

L'architronito disegnato da Leonardo da Vinci.





Parte Quarta: Fuoco → Stato del Plasma

1. Il quarto stato della materia

L'utilizzazione discrezionale del fuoco è per l'umanità il vero superamento della condizione animale, l'avvio delle civiltà. Il fuoco significò, infatti, la sconfitta del buio e del freddo, ampliando perciò gli ambiti esistenziali, ma anche il presupposto per la ceramica e per i metalli. In breve la sua rilevanza fu talmente ampia e totalizzante che non a caso lo si considerò un furto ai danni degli dei del mitico Prometeo, condannato perciò ad un eterno supplizio. E assurse, per conseguenza, al rango del quarto elemento della natura, che solo in prima apparenza non trova uno stretto equivalente nei nostri stati di aggregazione della materia. La recente realtà scientifica è, però, del tutto diversa.

La temperatura che può considerarsi anche il livello d'agitazione delle molecole costituenti la materia, ha come minimo la loro stasi completa, definita per convenzione zero assoluto, ma non ha un massimo. Pertanto, se intorno ai 1000 C° si ha l'emissione di luce, intorno ai 5000 C° la materia è ormai un aeriforme luminoso. Superati i 6000 C° tutti gli atomi hanno perso i loro elettroni per cui, oltre a emettere luce, sono anche fortemente ionizzati: tale condizione fu definita, a partire dal 1923, del *plasma*. In conclusione la manifestazione del plasma inizia con la rossa fiamma per giungere all'azzurra luce dei fulmini, corrispondente a circa 30.000 C°[1]: paradossalmente sulla terra è uno stato di scarsa rilevanza quantitativa, e per giunta molto effimera, sia che si tratti di fiamme che di scariche elettriche, nell'universo è la quasi totalità della materia conosciuta, pari al 99%, che è tale proprio perché visibile.

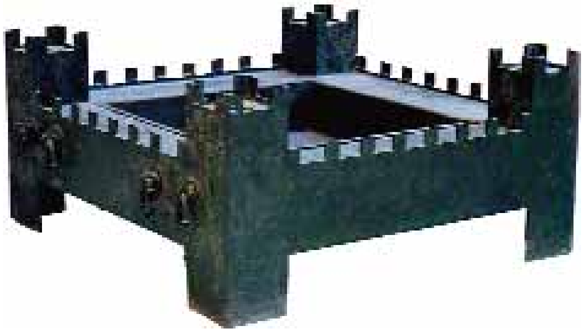
1 La definizione sintetica esposta nella *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica,* De Agostini 1995, così recita alla voce: "*Stato di aggregazione della materia che si aggiunge ai tre comunemente noti…, costituito da un gas altamente ionizzato, cioè tale che gli atomi o le molecole costituenti risultano privi di tutti o quasi gli elettroni. Poiché il p. è neutro dal punto di vista elettrico, esso appare come una miscela di ioni positivi e di elettroni negativi, le cui cariche si neutralizzano a vicenda.*"

Vulcano incatena Prometeo, di Dirck van Baburen, 1623.

1.1 Illuminare e riscaldare

Dal punto di vista fisico l'uso sistematico del fuoco e la sua padronanza nelle varie applicazioni costituisce la presa di possesso della prima forma di energia naturale disponibile. Grazie ad essa tornava possibile intervenire su molteplici processi produttivi, in precedenza magari noti parzialmente, come negli incendi naturali o nelle colate di lava, ma non per questo discrezionali. E tornava possibile anche mitigare il rigore del clima, riscaldando il piccolo ambito esistenziale, e le tenebre della notte[2], prolungando così il giorno e la buona stagione con effetti aggregativi straordinari. Anche in questa elementare schematizzazione gli effetti immediatamente percepibili del fuoco sono due, il calore e la luce, che per quanto accennato sono in sostanza intimamente connessi, essendo la seconda una manifestazione del primo.

2 Cfr. C. PERLES, *Preistoria del fuoco. Alle origini della storia dell'uomo,* Torino 1983, pp. 73-97.



A fianco: *Due bracieri rinvenuti ad Ercolano.*
Sopra: *Una lucerna romana proveniente dal sito archeologico di Botorrita, in Spagna, datata al I sec. a.C..*

Nel corso dei millenni successivi, alla padronanza del fuoco seguì, quasi come ovvia conseguenza, la scoperta e la lavorazione della ceramica e poi dei metalli, con esiti tecnologici rivoluzionari, ferme restando le fondamentali applicazioni di illuminazione e riscaldamento che ebbero continua adozione fino alla diffusione dell'energia elettrica, non a caso ancora definita per l'uso domestico 'luce', e dei combustibili fossili. Quale che fu l'evoluzione dell'impiego del fuoco, le sue potenzialità presero presto a diversificarsi in molteplici aspetti, dapprima connessi con l'alimentazione, poi con la coltivazione, infine con la produzione dei metalli, senza contare ovviamente quelli attinenti alla guerra, di cui già in precedenza si era avuto modo, magari incidentalmente e poi volutamente, di verificarne la capacità distruttiva. Significativamente quando il ferro assurse a metallo della guerra per antonomasia, il fuoco ne divenne il suo inseparabile complemento!

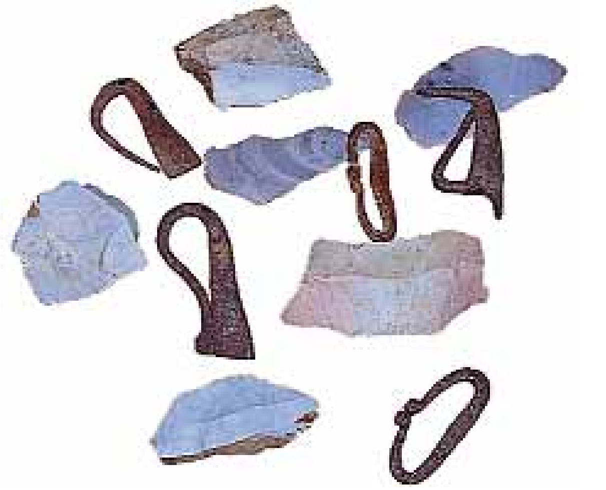
1.2 Accensione del fuoco: acciarini e fiammiferi

Che la forte percussione di pietre silicee generasse scintille fu subito evidente, durante la loro lavorazione tesa a ricavarne lame; che le stesse potessero accendere un'esca molto secca, fu in breve risaputo e rapidamente verificato. Alquanto più recente la constatazione che le scintille, scaturite dalla percussione di un oggetto di ferro sulle medesime pietre, erano più idonee, per grandezza e densità, alla accensione dell'esca. Agli inizi della nostra era, almeno nel mondo romano comparvero degli antesignani fiammiferi che così menzionò Marziale[3]:

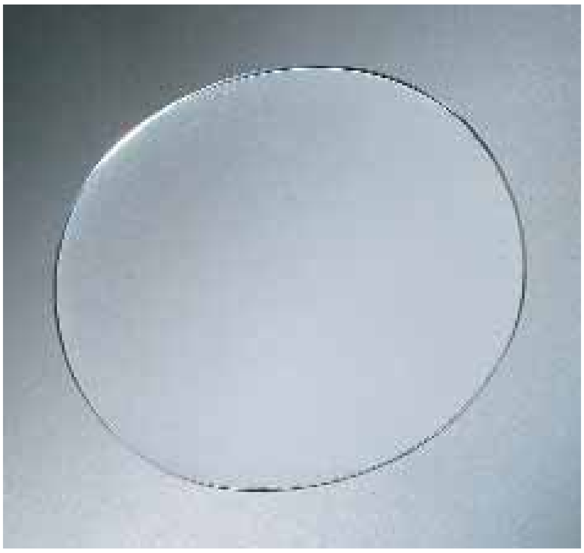
"*Che cosa sei allora? Un buffone, come un venditore ambulante trasteverino, che scambia zolfanelli giallicci con oggetti di vetro incrinati..*".[A45]

In realtà non erano degli zolfanelli simili a quelli che saranno inventati intorno al 1680 che tramite lo sfregamento su del fosforo si accendevano, effetto che sta alla base della loro produzione commerciale avviatasi soltanto dal 1800. Lo zolfanello romano era ottenuto immergendo nello zolfo fuso i sottili steli della canapa, e si poteva accendere solo per

3 MARCO VALERIO MARZIALE, *Epigrammi*, LXI *Un buffone*.
A45 Testo originale Allegato 45, in Allegati.



Sopra: *Acciarini a percussione di epoca romana.*
A fianco, dall'alto: *Prisma per la creazione di arcobaleni domestici rinvenuto a Pompei; lente di ingrandimento ancora da Pompei; lenti di ingrandimento di epoca classica.*



contatto con un'altra fiamma o una piccola brace. Si tratta, quindi, piuttosto d'uno stoppino. Paradossalmente in quel medesimo contesto storico esisteva un metodo notevolmente più avanzato e completamente diverso per accendere realmente il fuoco, basato sull'impiego di sfere di vetro. Forse fu la constatazione degli effetti dei raggi del sole attraverso un recipiente di vetro, o di una sfera di cristallo di rocca.

1.3 Acciarini ottici

Tornando per un momento alla produzione del vetro, già esaminata per vari aspetti inerenti la ricerca, oltre alle produzioni di tipo industriale per l'edilizia, di tipo civile per i vari contenitori di uso quotidiano e di tipo artistico per oggetti di ragguardevole pregio, se ne conosce pure una di nicchia, che non sarebbe esagerato definire di tipo scientifico. Ovviamente fu di entità modestissima, ma ancora una volta, per quanto già precisato, appare per noi importantissima in quanto premessa di attuali produzioni di massa.[4] Fra queste, ad esempio, i prismi di cristallo, di straordinaria precisione e regolarità, usati per scomporre la luce nei colori dello spettro: per l'epoca una variante a domicilio dell'arcobaleno!

Sono affiorati ancora dei piccoli vetri più curiosi, rotondi leggermente convessi, capaci di fornire una immagine ingrandita: in breve vere e proprie lenti d'ingrandimento, nella pienezza del significato. I medici militari solevano cauterizzare le ferite con una spessa lente o una sfera di cristallo di rocca, concentrandovi sopra i raggi solari. La conferma la si trova in Plinio che scriveva[5]:

"*...ho scoperto che, tra i medici si crede non esistere miglior sistema di cauterizzare le parti del corpo* [fe-

4 Cfr. AA.VV., *Glassway, il vetro: fragilità attraverso il tempo*, Palermo 2004, pp. 15-50.

5 Da G. PLINIO SECONDO, *Naturalis Historia*, lib. XXXVII, 28.

Sopra: *Castone romano su anello, II sec..*
A fianco: *Lente con ritratto dipinto rinvenuta a Pompei.*

rite] *che impiegando una sfera di cristallo posta in maniera da essere attraversata dai raggi del sole...'’*[A46]

Lenti del genere sono state ritrovate in varie regioni dell'Impero ed anche a Pompei. Le più spesse, servivano senza dubbio per uso medico, ma quelle più sottili furono necessariamente impiegate proprio come lenti da vista, per consentire la visione ai soggetti anziani e, soprattutto, agli incisori. Assurdo, infatti, immaginare l'esecuzione dei microscopici castoni e cammei, tanto ammirati dai Romani e frequenti fra i reperti pompeiani, non disponendo di tale sussidio! Senza contare, inoltre, che l'abilità artistica si conseguiva con l'incrementarsi dell'età, esattamente al contrario dell'acutezza visiva!

Del resto è abbastanza noto l'impiego di qualche filtro di smeraldo, classico quello usato da Nerone, per riposare gli occhi o forse per correggere qualche difetto visivo. Forse, e si entra nell'ambito delle ipotesi meno suffragate, lenti del genere vennero applicate anche ad alcune diottre, rendendole molto più precise, grazie all'avvicinamento virtuale di quanto traguardato. In alcuni manoscritti di epoca medievale, sono raffigurati astronomi che scrutano il cielo attraverso un tubo, che: "*si è deciso che dovesse trattarsi di tubi vuoti. Ruggero Bacone nel V libro dell'Opus Majus parla con entusiasmo della capacità degli 'Antichi' di ingrandire gli oggetti piccoli e di avvicinare quelli lontani con opportune combinazioni di lenti… Prima* [di lui] *la possibilità di usare i fenomeni di rifrazione per costruire microscopi e cannocchiali era stata lucidamente esposta da Roberto Grossatesta.*"[6] Per l'esattezza, come in precedenza già citato, aveva scritto che era possibile far sembrare vicini oggetti lontani e, a discrezione, grandi oggetti piccoli.

Era una precognizione paranormale del cannocchiale e del microscopio con quasi quattro secoli di anticipo, o non piuttosto l'estrema rimembranza, con quasi quattordici secoli di ritardo, di quanto effettivamente realizzato! Poiché riesce difficile immaginare frate Ruggero Bacone nelle vesti di un profeta della tecnologia futura è più agevole ritenerlo un epigono di quella del passato, uno studioso che la recupera in alcuni codici, perduti in qualche biblioteca monastica.

A46 Testo originale Allegato 46, in Allegati.

6 Da L. RUSSO, *La rivoluzione…*, cit., p. 400.

Per tornare a Pompei tra le altre singolarità è stato, inoltre, ritrovato un esemplare di lente assolutamente eccezionale, sebbene di minuscole dimensioni. Si tratta di un perfetto ellisse, con l'asse maggiore di cm 2.3 e quello minore di 2, montato su di un supporto di bronzo al quale è fissato con due perni filettati di pochi millimetri. Già queste due insignificanti viti costituiscono un sofisticato prodotto della tecnologia dell'epoca, non essendosene mai ritrovate altre simili. Ma lo stupore maggiore deriva dal constatare che sul vetro ellittico e convesso vi è dipinto da un lato un ritratto di ottima fattura e ragguardevole fedeltà. Ora, ponendovi dietro la fiamma di una candela o di una lanterna, sarebbe stato possibile proiettarlo su di una parete bianca, realizzando una rudimentale lanterna magica[7]!

Sensato concludere che si trattasse appunto di una sorta di antesignana diapositiva o di un sistema per rendere visibile, perché ben ingrandita dalla convessità del vetro e dall'illuminazione posteriore, l'anacronistica diapositiva.

7 Da un punto di vista meramente cronologico, l'invenzione della lanterna magica è ascritta al gesuita Athanasius Kircher, nel 1645. Tuttavia sono note le esperienze di Leonardo sulla camera oscura e forse persino quelle di Aristotele al riguardo. Ma, ed è la conferma della sua notorietà in epoca anteriore, una vera, completa e funzionante lanterna magica è disegnata dall'architetto Giovanni (o Jacopo) Fontana, 1393-1455 ca, nel suo *Bellicorum instrumentorum liber*, composto verosimilmente tra il 1420 ed il 1440.

Sopra: *Il candelabro a sette braccia raffigurato nell'Arco di Tito.* In basso: *La lanterna magica del Fontana: da notare la proiezione sul muro.* Bellicorum instrumentorum liber*, fol. 70r.*

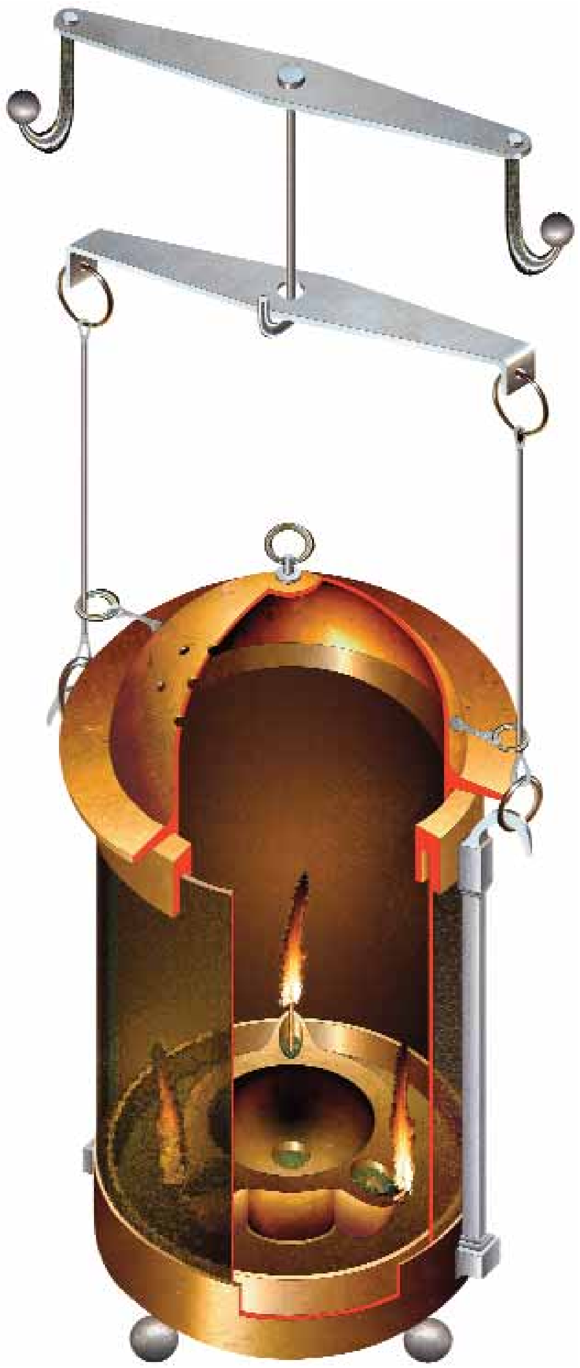
2. Il fuoco per vedere

Il fuoco, rischiarando le tenebre, consentiva una visione tanto più nitida quanto più grande fosse stata la sua sorgente, per cui con l'avvento di più elevati livelli economici e culturali si costruirono supporti per poter sostenere più candele o torce, da tenersi accese contemporaneamente: il più celebre fra i candelabri fu quello a sette braccia del Tempio di Gerusalemme. Una particolare attenzione, inoltre, fu dedicata alla costruzione di lanterne che proteggessero la fiamma, evitandole perciò di spegnersi al primo soffio di vento, esigenza sentita soprattutto a bordo delle navi e sui mezzi di trasporto notturni.

2.1 Le lanterne a vento

Le case romane, e peggio ancora quelle greche, anche quando di notevole lusso non disponevano di adeguati impianti per l'illuminazione notturna: del resto per la stragrande maggioranza della società ogni attività si concludeva con il sopraggiungere delle tenebre per cui non se ne sentiva alcun bisogno. In pratica i mezzi usati per disporre di un minimo di luce di notte si riducevano soltanto a tre: piccole lucerne a olio, candele di sego e lanterne ad olio: queste ultime furono rese capaci di resistere al vento con un'apposita schermatura di vetro. Le fonti iconiche ci portano a concludere che si trattò, verosimilmente, di una derivazione delle lanterne utilizzate a bordo delle navi da guerra e negli accampamenti, cioè in ambiti in cui era indispensabile un impiego prolungato e un'ampia

In alto: *Bassorilievo della Colonna Traiana: a poppa della nave ammiraglia una lanterna a vento.*
Sopra: *Resti della medesima lanterna rinvenuti ad Ercolano.*
A fianco: *Ricostruzione virtuale della stessa lanterna.*



resistenza al vento ed alla pioggia. Bruciavano tutte olio lampante, che non a caso divenne, in breve, per l'epoca uno dei suoi impieghi prioritari!

L'archeologia pompeiana ce ne ha restituito un discreto numero, perfettamente simili a quelle raffigurate sulla Colonna Traiana, a bordo delle navi militari. Constavano di un contenitore di bronzo, formato da un basamento e da un coperchio sollevabile su delle sottili guide. All'interno, fissato al fondello, un serbatoio per l'olio combustibile, simile ad un calamaio, da cui fuoriusciva il lucignolo. Lungo il bordo del fondello vi era una scanalatura destinata a ricevere il vetro, uguale a quella del coperchio per lo stesso scopo. Per accenderla si sollevava quest'ultimo e, dopo aver ripulito il vetro, si dava fuoco al lucignolo, regolandone la lunghezza in modo da ottenerne una maggiore o minore luminosità. Dopo di che si abbassava il coperchio e, una volta incastratovi il vetro, se ne bloccavano i fermi.

A quel punto la lanterna poteva essere sospesa tramite la catena al suo supporto ed alla sua altezza, in grado di funzionare anche con forte vento. Questo tipo di lanterna, ad eccezione della sostituzione dell'olio con il petrolio, restò in uso fino alla metà del secolo, e sopravvive ancora come lampada d'emergenza.

3. Fuochi per essere visti

Il fuoco oltre a consentire di vedere nella notte, diviene a sua volta un vistoso indicatore di posizione, un segnale inequivocabile, particolarmente proprio per il continuo agitarsi delle fiamme. Non a caso ancora oggi nella nebbia si preferiscono segnalazioni effettuate con torce a vento, piuttosto che con lampade elettriche. Ovvio che fin quasi all'avvento della radio il fuoco occupò nelle trasmissioni un ruolo fondamentale, essendo l'unico evento percepibile a diverse decine di km di distanza.

3.1 I fari romani

Per quanto siamo in grado di stabilire, sul finire del IV secolo d.C. i fari romani ancora funzionanti lungo le coste dell'Impero ammontavano ad oltre 400. Tutti in buona sostanza traevano origine dalla leggendaria torre eretta sull'isolotto di *Pharos* dinanzi Alessandria, una delle sette meraviglie del mondo antico, assurta a *faro* per antonomasia.

La grande costruzione, voluta da Tolomeo Sotere e terminata dal figlio Tolomeo Filadelfo sul finire del III secolo a.C., ebbe già in fase di progetto, ascritto a Sostrato di Cnido, un'ambigua destinazione, indicando ai naviganti il porto ma anche, e soprattutto, lo splendore della dinastia. Una sorta di emblema della sapienza che si irradiava dalla sottostante e altrettanto mitica biblioteca.[8] Dal punto di vista architettonico il faro alessandrino si articolava su tre sezioni, ben distinte e di dimensioni e altezze decrescenti, per un totale di oltre un centinaio di metri. Tra le colonne che sostenevano la copertura conica, sormontata dalla statua di Nettuno, stava collocato il grande braciere della lanterna, dove ardeva perennemente una enorme fiamma, visibile fin quasi ad una sessantina di chilometri. Secondo alcune fonti, intorno al braciere stavano collocati specchi rotanti, per orientare la luce emessa dalla fiamma, come in ultima analisi nei fari moderni. Ma l'analogia finisce qui, dal momento che la navigazione mercantile e militare avveniva quasi sempre a vista, cioè cabotando, per cui quando non si vedeva più la terra, cessava, per riprendere sul far del giorno. Pochissime, perciò, le navi che nel III sec. a.C. attraversavano il Mediterraneo su rotte dirette nord sud, e non sufficienti a giustificare la colossale opera e la sua onerosa gestione, a legna, ad olio o a nafta che fosse.[9]

In alto: *Il grande faro di Alessandria, in una veduta d'artista.* Sopra: *La medievale fortezza che copre la base del faro di Alessandria.*

Di ciò si sono sempre resi conto i tanti studiosi che ne hanno affrontato il funzionamento: nessuno, tuttavia, ne ha mai indagato la logica sottesa. Anzi, moltiplicandosi nei secoli analoghe strutture, sia pure di formato minore, l'ovvietà della destinazione si impose tacitando ogni riserva, tanto più che lo stesso Plinio sembra convalidarla[10]:

"*Suscita ammirazione anche un'altra torre costruita dal re, quella sull'isola di Faro, che controlla*

8 Cfr. F. RUSSO, *I fari romani*, in *Rivista Marittima*, febbraio 2007.

9 Cfr. W. EKSCHMITT, *Il faro di Alessandria*, in *Archeo*, supplemento n. 3, marzo 1993, pp. 36-47.

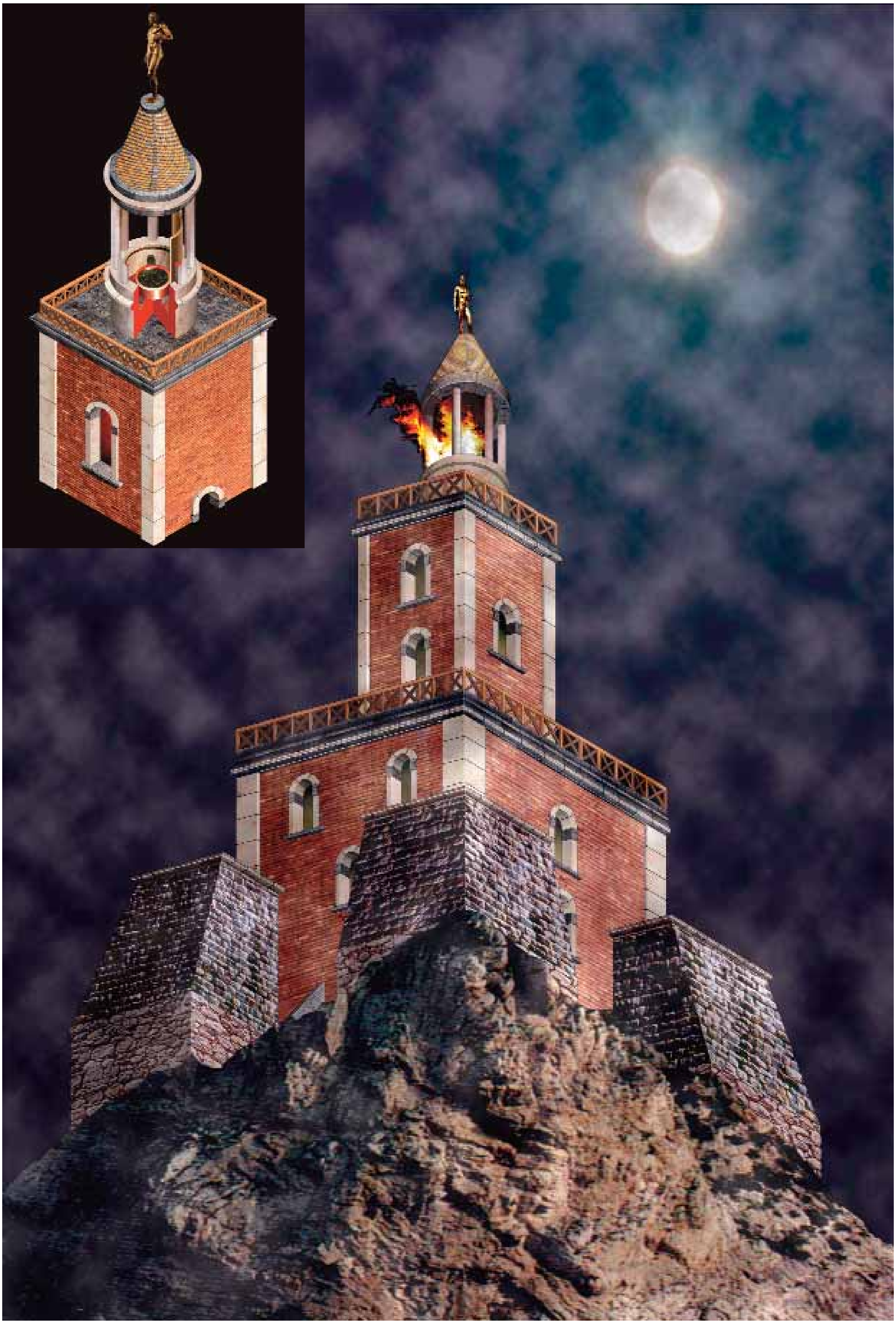
10 PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. XXXVI, 83.

il porto di Alessandria; pare costasse 800 talenti, e si deve alla magnanimità del re Tolomeo - non trascuriamo nulla - se l'architetto Sostrato di Cnido ebbe l'autorizzazione ad incidere il suo nome sull'edificio stesso. Funzione della torre era mostrare la rotta alle navi di notte con i fuochi, preavvertendo delle secche e dell'entrata del porto (fuochi di questo genere sono ora accesi in parecchi luoghi, come Ostia e Ravenna- il pericolo del sistema sta nella possibilità che, bruciando in continuazione, questi fuochi vengano scambiati per stelle, perché da lontano l'aspetto delle fiamme è simile)."[A47]

L'obiezione di Plinio appare discutibile, non fosse altro per la modesta altezza che qualunque faro avrebbe avuto sull'orizzonte, per non parlare del tremolio della fiamma; quanto poi al rischio delle secche che quello di Alessandria avrebbe segnalato, derivava, se mai, dal volerle evitare con le tenebre! I mosaici, gli affreschi ed i bassorilievi romani, tuttavia, raffigurano i fari sempre nel loro contesto diurno, testimoniato dal carico e scarico delle navi e dal movimento della gente a bordo e sulle banchine. Il faro romano poco utile se non superfluo di notte tornava, invece, utilissimo e quasi indispensabile di giorno e proprio alle navi di lungo corso che perdevano di vista la terra. In un certo senso, si potrebbe concludere che non fu la navigazione in alto mare a richiedere i fari quanto, piuttosto, la presenza di questi a incentivarla! La soluzione del paradosso appena ribadito è nella diversa visibilità dei fari, non mediante la fiamma ma mediante la colonna di fumo che sprigionava! Essendo la funzione del faro quella di indicare la terra, quando da bordo non la si poteva più scorgere, divenne sensato collocarli sulla maggiore altura limitrofa[11] ai porti, come avvenne a Miseno. La nera colonna di fumo, innalzandosi per migliaia di metri, si poteva individuare a distanze non di una decina ma di un centinaio di km! Pertanto, grazie a quel *fil di fumo,* anche i naviganti che percorrevano le famose rotte trasversali non perdevano mai di vista quell'esile traccia della terra prolungando, perciò, virtualmente il cabotaggio persino dove, per ovvie ragioni, non sarebbe stato possibile.

A47 Testo originale Allegato 47, in Allegati.
11 Cfr. F. RUSSO e F. RUSSO, *79 A.D. Corse for Pompeii…*, cit., pp. 66-75.

In alto: *Raffigurazioni del faro di Ostia nel bassorilievo Torlonia ed in una moneta.*
Al centro: *Raffigurazione del faro di Alessandria su di una moneta.*
Sotto: *Lanterna in terracotta a forma del faro di Alessandria.*
Nella pagina a fianco: *Ricostruzione virtuale del faro di Miseno e, in dettaglio, della sua lanterna.*



4. Fuoco per riscaldare

Che col fuoco ci si potesse riscaldare fu evidente sin dal primo incendio: per avvalersene all'interno della casa, bastava custodirlo in un apposito braciere o alimentare la combustione in un'adeguata fornace, favorendone in qualche modo la fuoriuscita del fumo. Le capanne più arcaiche ebbero perciò un foro sulla sommità della copertura, che sopravvisse pure nell'atrio delle *domus* di epoca imperiale, col nome di *impluvium*: il fumo che anneriva le pareti delle più antiche abitazioni, valse a far chiamare tale ambiente *atrium* da *ater*, nero!

4.1 Il riscaldamento domestico

Chiunque visiti Pompei o Ercolano non può sottrarsi alla sensazione di trovarsi fra i ruderi di una città dal clima tropicale, mai raggiunta dal freddo invernale: nella cattiva stagione, tutt'al più, la temperatura si abbassava lievemente! Il che potrebbe essere stato anche vero, coincidendo il contesto storico di quelle residenze con uno dei tanti cicli caldi, avvicendatisi negli ultimi due millenni. Non così, però, in altre regioni dell'Impero, dove la stagione gelida era ben presente. Lì le finestre ebbero i vetri e le case un vero riscaldamento, persino più razionale dell'at-

A fianco: *Impluvium romano a Pompei.*
In alto ed al centro: *Pareti tubolate per la circolazione dell'aria calda dietro le pareti.*
Sopra: *Pavimentazioni rialzate per il riscaldamento ad ipocausto.*

tuale. Era in definitiva una variante domestica dell'ipocausto ampiamente adottato nelle terme. Una caldaia, funzionante a legna, produceva una grande quantità d'aria calda fatta circolare, per differenza di pressione con quella fredda, sotto i pavimenti e dietro gli intonaci dei muri.

Allo scopo, apposite colonnine e supporti, detti *sospensure,* mantenevano sollevato il pavimento, mentre dei mattoni forati, disposti lungo le pareti, detti *parietes tubulati,* e collegati al vano sottostante il pavimento consentivano all'aria calda di sfogare all'esterno dopo aver riscaldato anche i muri.[12]

Ovviamente la temperatura di circolazione dell'aria era relativamente bassa, ma un paio di giorni bastavano per portare l'interno dell'edificio ad un gradevole tepore. La legna non mancava, al pari della mano d'opera per mantenere la caldaia sempre in funzione. Va ancora osservato che con la medesima caldaia si riscaldava pure l'acqua delle terme domestiche e dei bagni, sfruttandone così al massimo la resa, che restava comunque estremamente ridotta.

4.2 *Sistemi di riscaldamento termale*

Come accennato, una concezione analoga alla precedente provvedeva al riscaldamento dell'acqua delle vasche e dei locali delle terme romane. Queste, al pari degli acquedotti, pur non essendo una loro precipua invenzione ne divennero una peculiarità distintiva. I Romani andavano alle terme non soltanto per fare il bagno e magari ginnastica, ma per passeggiare, per divertirsi, per incontrarsi, per discutere di affari, per mangiare e bere, per assistere a spettacoli e per ammirare opere d'arte. In definitiva, per vivere più intensamente in un ambiente che, come le nostre spiagge, favoriva i contatti e agevolava le confidenze.[13]

Nessuna meraviglia, pertanto, che la costruzione delle terme finì per divenire un preciso impegno politico e degli imperatori e dei maggiorenti locali e persino dei privati benestanti. Ed uno dei primi impegni dei reparti del genio militare, i *faber* delle legioni, non appena il campo diveniva permanente. Alle spalle degli impianti si coglie un'esigenza igienica e sanitaria non altrimenti appagabile almeno nella fase arcaica. Così Vitruvio ne tramanda le connotazioni salienti[14]:

"*Innanzi tutto bisogna scegliere un sito che sia il più caldo possibile, non esposto a settentrione né ad aquilone. I calidari e i tepidari, in inverno, debbono ricevere luce da occidente e qualora la natura del luogo lo impedisse, dal mezzogiorno, poiché il tempo del bagno è soprattutto compreso fra mezzogiorno e il tramonto. Bisogna anche considerare che i calidari delle donne e degli uomini devono essere attigui e con la stessa esposizione, in modo che ci siano una caldaia e un focolare sotterraneo in comune. Al di sopra del fuoco dovranno essere collocati tre serbatoi di bronzo, uno per l'acqua calda, uno per l'acqua tiepida e uno per l'acqua fredda, in modo che, così collocati, quanta è l'acqua che dal serbatoio tiepido si riversa in quello caldo, altrettanta si riversi da quello freddo in quello*

In alto: *Le terme stabiane di Pompei.*
Sopra: *Una delle vasche delle terme di Ercolano.*

12 Cfr. A. STACCIOLI, *Le terme dei romani*, in *Archeo*, n° 68, ottobre 1990, pp. 65-107.
13 Cfr. J. CARCOPINO, *La vita quotidiana a Roma all'apogeo dell'Impero*, Bari 1982, pp. 290-301.
14 VITRUVIO, *De architectura*, lib. V, 10. La citazione è da M. Vitruvio Pollione, *De architectura Libri X*, a cura di Franca Bossalino, Roma 2002, pp. 199-201.

tiepido e le camere a volta sotto il pavimento vengano riscaldate da un focolare comune. I pavimenti rialzati dei calidari si rivestano con tegole di un piede e mezzo, inclinate verso il focolare, in modo che lanciando una palla, questa non ritorni indietro ma rotoli in avanti fino alla bocca del fuoco; così la fiamma si diffonderà più facilmente sotto il pavimento delle vasche. Si costruiscano dei pilastrini di mattoni larghi otto dita, disposti in modo tale che sopra si possano collocare delle tegole di due piedi; i pilastrini avranno un'altezza di due piedi. Si facciano con argilla impastata con capelli e sopra si dispongano le tegole lunghe due piedi su cui si poserà il pavimento. Le volte, se saranno fatte in muratura saranno più utili; se fossero fatte di travature di legno, bisognerà rivestirle di terracotta. Il che si fa nel modo seguente. Si preparino delle barre o archi di ferro e si sospendano alla travatura per mezzo di ganci di ferro più fitti possibili; queste barre o archi si dispongano in modo tale che fra due di loro si possano inserire le tegole senza bordo e così le volte, poggiando sul ferro, saranno perfette. Le giunture dell'estradosso delle volte si liscino con argilla mista a capelli e l'intradosso, rivolto verso il pavimento, sia rinzaffato con cocci misti a calce e poi rifinito con lo stucco o con l'intonaco. Se le volte delle caldaie saranno doppie si avrà un rendimento migliore; infatti l'umidità del vapore non potrà corrompere il legno delle travature, ma circolerà tra le due volte. La grandezza dei bagni sarà proporzionata al numero delle persone. I bagni debbono essere dimensionati in questo modo. La larghezza, escluso lo spazio di attesa davanti al lavabo di marmo e alla vasca di muratura, sarà uguale alla lunghezza meno un terzo. Il lavabo dovrà essere sistemato sotto la luce affinché quelli che stanno intorno in piedi non la oscurino. Gli slarghi avanti ai lavabi dovranno essere spaziosi affinché, mentre alcuni li stanno usando, gli altri possano stare in piedi ad aspettare. La larghezza della vasca tra il muro e il bordo non dovrà essere minore di sei piedi in modo che il gradino inferiore e il pulvino ne prendano due. Il laconicum *e le* sudationes *debbono essere annessi al* tepidarium *e saranno larghi quanto sono alti, fino all'imposta della semicupola. Al centro della semicupola si lasci un'apertura da cui si faccia pendere un disco di bronzo sostenuto da catene, con il quale, abbassandolo o innalzandolo, si regolerà la temperatura della stufa. È necessario che sia circolare affinché la forza della fiamma e del vapore si distribuisca in modo uniforme dal centro lungo tutta la superficie curva.''*[A48]

A48 Testo originale Allegato 48, in Allegati.

Le terme romane di Bath in Gran Bretagna, ancora in funzione.

Un impianto del genere, che ci è pervenuto sostanzialmente integro sebbene di medie dimensioni, quello delle Terme Stabiane di Pompei, garantisce dei precisi riscontri. Sotto il profilo storico è il più antico fra i conosciuti, risalendo al II secolo a.C.. Le terme:"*divise in due settori, uno per gli uomini e l'altro per le donne, disposti su di un unico asse longitudinale ai lati di una fornace comune, erano estese su una superficie di oltre 3500 mq, compreso l'ampio cortile, porticato su tre lati, che serviva da palestra e al quale era stata aggiunta in un secondo tempo una grande piscina con uno spogliatoio e altri ambienti, abbastanza vasti da potere essere utilizzati per gli esercizi fisici al coperto.*"[15]

Volendo meglio precisare gli aspetti tecnici connessi a quei grandi impianti, ne va ricordato innanzitutto l'enorme fabbisogno d'acqua: per le sue terme Agrippa, il fondatore della marina da guerra romana, fece costruire appositamente l'Acquedotto della Vergine, che da Marino immetteva sulle alture del Pincio circa 100.000 mc al giorno. Prima però di essere usata l'acqua veniva raccolta in colossali cisterne, che ne stabilizzavano il flusso per quantità e pressione. Pertanto a partire:"*dalle cisterne, attraverso un'articolata rete di distribuzione formata da tubazioni di piombo o di terracotta, l'acqua veniva immessa nelle vasche per il bagno freddo e nella piscina natatoria, mentre quella che doveva essere riscaldata veniva convogliata nel settore dei forni, donde poi raggiungeva le vasche del bagno caldo mediante tubazioni e derivatori che partivano dalle caldaie.*

*Il forno (*hipocausis*), che nei primi balnea era spesso sistemato al di sotto dell'unico ambiente*

15 Cfr. A. STACCIOLI, *Le terme…*, cit., p. 70.

riscaldato, era ubicato nella parte centrale dell'edificio balneare... Il combustibile usuale era la legna, che veniva accantonata in speciali depositi in quantità tali da bastare... fino ad un mese... Le caldaie che servivano al riscaldamento dell'acqua erano generalmente di bronzo, oppure di bronzo nella parte inferiore, che era direttamente lambita dalle fiamme, e in lamina di piombo nella parte superiore. Di solito, erano poste entro una «camicia» in muratura che ne assicurava la stabilità e al tempo stesso limitava la dispersione del calore. Molto usato il sistema a batteria, con l'impiego di due o tre caldaie nelle quali l'acqua veniva riscaldata a temperature diverse.

Le stesse caldaie erano tra loro comunicanti per mezzo di tubi forniti di rubinetti, in modo che mano a mano che veniva erogata l'acqua più calda contenuta nella prima caldaia, essa poteva essere rimpiazzata da quella già tiepida della caldaia vicina... con grande risparmio di tempo e di combustibile.

Un modo per impedire il raffreddamento dell'acqua all'interno delle vasche, o per mantenerla a temperatura costante, era quello descritto da Vitruvio che s'avvaleva dell'impiego della cosiddetta testudo alvei *(letteralmente 'targatura della vasca')*[16]*: un recipiente di bronzo semicilindrico, in forma di testuggine, riscaldato dall'esterno, e cioè direttamente dal forno, e appoggiato sul fondo della vasca con la parte convessa in alto, dal quale il calore passava all'acqua in maniera continua ed uniforme.*"[17]

Va osservato che le piscine, calde o fredde che fossero, erano alimentate con acqua corrente, non essendo in alcun modo possibile depurarla, come nelle attuali con filtri e apposite pompe. Il che determinava un flusso cospicuo di acqua uscente dalle terme, usata per molteplici impieghi in base alla sua temperatura. In un caso sembra addirittura che facesse persino funzionare un mulino, conferma della razionalità degli impianti miranti a minimizzare le perdite e gli sprechi non strettamente necessari.

Quanto al riscaldamento delle sale era realizzato con il sistema di circolazione dell'aria calda innanzi descritto utilizzando l'aria calda prodotta dalle caldaie per l'acqua.

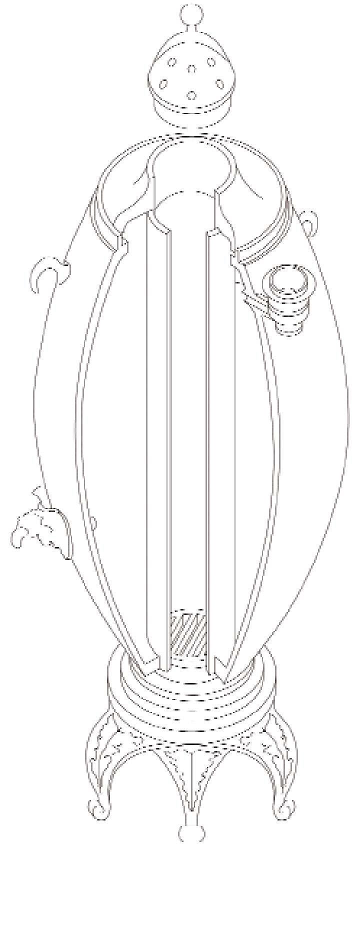
4.3 *Il samovar da tavola*

Un giro per le strade dell'antica Pompei porrà in evidenza i tanti locali pubblici destinati alla consumazione del vino caldo, variamente miscelato. Ovvio, pertanto, che i ceti abbienti si fossero in qualche modo organizzati per poter gustare la medesima bevanda durante i pasti. Allo scopo provvedeva una sorta di grande samovar, realizzato in bronzo artisticamente decorato e di notevole capacità. Nel corso degli scavi ne sono stati recuperati diversi, tutti in buona sostanza simili per forma ed equivalenti per capacità. A differenza dei samovar moderni, quelli romani una volta caricati di brace nello scomparto centrale, munito sul fondo di una griglia per la fuoriuscita delle ceneri, potevano venire continuamente rabboccati, tramite un apposto imbuto laterale. La disposizione evitava che particelle di carbone o di brace finissero nella bevanda.

In pratica si trattava di una grossa anfora di bronzo, la cui capacità deve stimarsi intorno alla quarantina di litri, munita in basso di un rubinetto a spina, analogo alle chiavi d'arresto innanzi descritte. L'estremità inferiore era munita di tre piedi, che le consentivano di mantenersi verticalmente in modo stabile. L'estremità superiore, poi, era completamente aperta ed immetteva nel cilindro centrale

Samovar romano da tavola, rinvenuto a Pompei.

16 Cfr. A. STACCIOLI, *Le terme...*, cit., p. 93.
17 Ibid p. 94.



destinato alla brace con griglia sul fondo, e nella pancia dell'anfora. Un coperchio anulare chiudeva quest'ultima ma lasciava aperto il cilindro, permettendo perciò di integrare con nuova brace quella già inceneritasi e evacuata dalla griglia sottostante. Per il ribocco del liquido, vi era un apposito imbuto laterale.

4.3.1 Il doppio samovar di Varrone

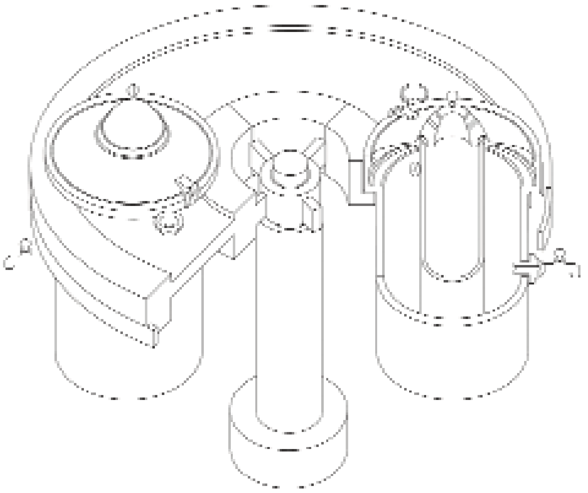
Se il vino era apprezzato tiepido, l'acqua però la si preferiva gelida, condizione che poteva essere soddisfatta soltanto ricorrendo al ghiaccio, conservato per tutto l'anno nelle cosiddette nevaie. Si trattava di vani sotterranei, o anche caverne e pozzi, ubicati in montagna dove durante l'inverno veniva ammassata la neve, che si trasformava in ghiaccio compatto conservandosi così anche durante l'estate. Tagliato a pezzi veniva venduto come refrigerante o come supporto per sorbetti. Nel primo caso, dei pezzi di adeguate dimensioni venivano introdotti in anfore del tipo di quella descritta, per abbassare la temperatura dell'acqua.

Si conosce, perché minuziosamente descritto, un doppio samovar, fatto costruire da un generale romano per fornire ai commensali acqua calda o fredda. La scelta avveniva ruotando il supporto dei due vasi, collocato su di un perno centrale ad una mensa anulare, fino ad aver il rubinetto desiderato a portata di coppa: così Varrone.[18]

"*A livello più basso dello stilobate vi è un rialzo di pietra, detto falere, di 1 piede e 3/4 di altezza, e questo a sua volta si eleva a circa 2 piedi da un laghetto ed è largo 5, in modo che i commensali possano camminare intorno, tra i cuscini dei sedili e le colonnine. Ai piedi dell'interno del falere v' è il laghetto, con un bordo di un piede, e al centro di esso v'è un'isoletta. Attorno al falere sono anche scavati come dei porticcioli, stazioni per le anatre. In mezzo all'isoletta v'è una colonnina con dentro un asse, che invece di una mensa sostiene una ruota a raggi fatta in modo che all'estremità dei raggi, che sogliono essere chiusi da un cerchio, v'è una tavola vuota dentro, a guisa di tympanum, larga 2 piedi e 1/2 e alta un palmo. Quest'apparecchio manovrato dallo schiavo che serve*

18 Cfr. E. SALZA PRINA RICOTTI, *Cibi e banchetti nell'antica Roma*, in *Archeo*, n. 46, dicembre 1988, p. 53-97. La citazione è tratta da M. T. VARRONE, *De re rustica*, lib. III, 5, 17.

A fianco, in alto ed al centro: *Dettagli del samovar da tavola rinvenuto a Pompei.*
A fianco, in basso: *Ricostruzione grafica dello stesso.*



In alto: *Affresco con tipico triclinium romano.*
Sopra: *Ricostruzione grafica del doppio samovar di Varrone.*
A fianco: *I fuochi di Sant'Elmo sulle antenne di un vascello in una stampa settecentesca.*

a tavola, ruota in modo che ci si possano imbandire tutte le vivande e tutte le bevande insieme, e girino davanti a tutti i convitati. Dalla piattaforma rialzata, su cui usualmente si distendono dei tappeti, le anatre si tuffano nel laghetto e nuotano; da questo laghetto si diparte un piccolo ruscello che va a terminare nelle due piscine di cui ho parlato, e i pesciolini vanno e vengono da quello a queste e viceversa, mentre un particolare dispositivo fa sì che l'acqua calda e fredda arrivi a ciascun commensale, girando dei rubinetti, dalla ruota di legno e dalla tavola posta all'estremità dei suoi raggi, a cui ho già fatto cenno."**A49**

A49 Testo originale Allegato 49, in Allegati.

5. Il fuoco freddo

Sebbene non si manifestino con significativa frequenza, vi sono in natura delle emissioni luminose prive di calore, volgarmente note come fuochi di S. Elmo, rientranti sotto il profilo scientifico tra i fenomeni di elettroluminescenza. In pratica si tratta di una singolare luminosità dovuta alla presenza di forti campi elettrici, naturali o artificiali, non molto diversa tipologicamente da quella del plasma. Tra le più note il cosiddetto *fuoco di S. Elmo,* ricordato dai marinai e per lo più non ritenuto di buon auspicio.

5.1 Il fuoco di S. Elmo

Stando alla tradizione S. Erasmo da Formia, in breve S. Elmo, subì il martirio sotto Diocleziano, quando venne arso vivo: prima della morte fu vista sulla sommità del palo al quale era avvinto, brillare e sollevarsi una singolare luce azzurrina, che per i credenti costituì la manifestazione della sua anima che ascendeva al cielo. Da quel momento il similare fenomeno che, come accennato, si manifesta in natura per lo più immediatamente prima o durante un temporale di particolare intensità, in seguito all'instaurarsi di un rilevante campo elettrico, foriero a sua volta, da cui la pessima fama del fenomeno, del violento scatenarsi degli elementi. A volerlo meglio

Giove che si accinge a scagliare il fulmine.

precisare scaturisce dalla massiccia differenza di potenziale atmosferico combinata al massimo addensarsi delle cariche elettriche sulle punte collegate alla terra. È una manifestazione elettrica ed una prima presa di contatto con i fenomeni connessi all'elettricità dell'antichità classica.

Plinio, che elenca nel suo trattato una miriade di fenomeni, tra veri, probabili e puramente fantastici, precisava che soltanto di pochissimi di loro era stato testimone diretto e attento: di questi il più stupefacente il fuoco di S.Elmo, per ovvie ragione ancora non così definito. Per gli antichi, infatti, quando costituito da una sola fiamma veniva chiamato *Elena*, se doppia *Castore e Polluce*. Così Plinio al riguardo [19]:

"Ho visto di notte, durante i turni di guardia dei soldati, attaccarsi alla punta delle lance, davanti alle palizzate, un luccichio di quella forma; si posano pure sulle antenne dei naviganti, e su altre parti della nave, con una sorta di suono vocale, come fossero uccelli che passano da un posto all'altro: minacciose quando giungono isolate, sono capaci di sprofondare le imbarcazioni e, se cadono al fondo della carena di incendiarla; ma a coppie sono favorevoli e annunciano una felice traversata, e al loro arrivo si dilegua (raccontano) quell'apparizione solitaria, funesta e truce, che ha nome Elena. Per questo si usa attribuire tale potere a Polluce e Castore e invocarli quando si è in mare. Questi fuochi brillano anche intorno alle teste degli uomini, la sera e sono portatori di un grande presagio. Tutto questo ha spiegazione malcerta, riposta nella maestà della natura." [A50]

Il commento di Plinio è degno di un vero scienziato che non azzarda ipoteti fantasiose ma si attiene ai fatti: circa l'aspetto acustico del fenomeno si tratta del ronzio emesso appunto dal forte campo elettrico. Che l'elettricità fosse, al di là della sua esatta determinazione ed acquisizione, ormai in qualche modo in fase di identificazione nel mondo romano lo dimostrano alcune singolari terapie a base di scariche elettriche.

5.2 Elettroterapie

Pur non mancando in epoca classica alquanti riferimenti, sia pure molto confusi, a dei fenomeni che oggi sappiamo connessi con l'elettricità, dai fulmini alle manifestazioni elettrostatiche, solo nell'ambito della medicina si ha un più preciso riscontro di quelle larvate nozioni. In particolare nell'opera di Scribonio Largo, *Compositiones*, si trova in maniera esplicita e dettagliata la prima menzione dell'impiego delle scariche elettriche, per terapie che andrebbero definite rispettivamente *galvanoterapia* ed *elettroshock*, con una razionale e, quasi certamente, efficace motivazione.

Per la storia Scribonio Largo fu un medico militare, forse di origine libertina e proveniente dalla Sicilia: sappiamo che partecipò alla spedizione del 43 in Gran Bretagna, al seguito delle legioni di Claudio. Per quanto è possibile arguire fu l'anno seguente che iniziò a scrivere il suo trattato, dedicandolo a Gaio Giulio Callisto, un potente liberto imperiale. L'opera, nonostante la sua forma linguistica sciatta e ricca di volgarismi, ebbe una indubbia fortuna tant'é che sopravvisse per l'intera età imperiale e fu sintetizzata nel Medioevo. Il testo in ogni caso ci è giunto integro e consta

19 PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. II, 37.

A50 Testo originale Allegato 50, in Allegati.

In alto: *Ritratto di Scribonio Largo nel suo studio: da notare la modernità della poltrona.*
Sopra: *Una torpedine elettrogena.*

di 271 ricette, alcune senza dubbio cervellotiche e prive di qualsiasi valenza curativa, altre, invece, di sano buon senso e di effettiva efficacia. Tra queste, tre fanno riferimento, sia pure in modo qualitativamente diverso, all'impiego delle scariche elettriche, che ovviamente potevano ottenersi solo con l'utilizzo delle torpedini, una vasta famiglia di pesci cartilaginei capaci di generare una intensa differenza di potenziale elettrico mediante appositi organi elettrogeni, compresa fra gli 8 ed i 200 volt, secondo la specie ed il grado di eccitazione. Come la derivazione etimologica ancora tramanda, il *torpore* provocato dalle scariche delle torpedini attenuava il dolore ed a volte ne inibiva le cause, giovando perciò alla guarigione. Queste le sue ricette al riguardo[20]:

20 SCRIBONIO LARGO, *Compositiones*, paragrafi 11, 99, 162.

11-Il dolore di testa, sebbene antico e intollerabile, lo elimina subito e definitivamente la torpedine nera viva, posta sul punto dolente, finché quella parte non diventi intorpidita e il dolore non cessi. E appena ciò si sarà avvertito, sia rimosso il rimedio, perché non sia tolta la sensibilità di quella parte. Invero è necessario procurarsi più torpedini di quel genere, poiché talvolta a stento con due o tre risponde la cura, cioè si manifesta il torpore, che è indizio di guarigione.

99 - Sana poi quelli presi dal male dei comizi, che i Greci chiamano epilettici, i furiosi che dicono mainoménous *(folli). Parimenti cura quelli che i greci dicono gli furiosi ai quali gli occhi sono oscurati da tenebre improvvise con rotazioni degli stessi, né giova di meno a quelli presi da dolore di testa di lunga durata, che dicono cefalea, quando siano sedati gli si diano 12 libbre in quattro bicchieri di idromele; e se ne sono presi frequentemente, dopo ogni due, tre attacchi, gli si deve dare l'erba sacra hiera*[21]*, come antidoto... talvolta fatta da bere la malva mista con la torpedine e con poco pane e acqua.*

162 - Per l'una e l'altra podagra una torpedine nera viva, quando si sarà presentato il dolore, occorre mettere sotto i piedi, stando sul litorale non secco, ma che il mare bagna, finché senta intorpidirsi tutto il piede e la tibia, fino alle ginocchia. Questa cura subito toglie il dolore, e col tempo lo guarisce. Anteros liberto di Tiberio, oltre le eredità, fu guarito da ciò.[A51]

6. Fuoco artificiale

6.1 La candela romana

La definizione di *candela romana* è relativa ad un particolare fuoco d'artifizio, di largo impiego per la sua semplicità, che produce scie luminose capaci di innalzarsi ad alcune decine di metri. Nel passato sembra che siano stati i Tartari i primi ad impiegarle, come ordigno bellico, ricavandole da canne di bambù svuotate e riempite a strati alterni di polvere pirica e di materiale incendiario, per lo più palle di stoffa impregnate di nafta. L'effetto era appunto

21 I Greci e di Romani chiamavano *Hiera botane*, l'erba sacra per noi nota come *verbena*: era una pianta consacrata a Venere, *Venus Victrix*, che infatti compariva incoronata di mirto e verbena. Forse vi è in questa consacrazione una spiegazione, o un riferimento, circa il suo impiego nella preparazione dei filtri d'amore. Attualmente le è riconosciuta una indubbia potenzialità antinevralgica ed astringente.
A51 Testo originale Allegato 51, in Allegati.

un'emissione continua, molto simile al getto di fuoco di un piccolo lanciafiamme. Tuttavia l'attribuzione di tale ordigno ai Romani, o più genericamente a Roma, al di là della pretenziosa etichetta, potrebbe non essere del tutto gratuita e, forse, nascondere una diversa origine, almeno come archetipo o criterio informatore.

Non vi è, infatti, alcun dubbio che l'Esercito romano avesse armi, o per lo meno proietti di tipo incendiario, e che ne facesse sistematico impiego sia negli investimenti ossidionali, sia in scontri campali, sia soprattutto nella guerra navale. Sappiamo, pertanto, di numerose miscele incendiarie di varia potenzialità e violenza; non sappiamo, invece, quasi nulla sulle tecniche usate per il loro innesco e per evitarne un troppo facile spegnimento. Il che indurrebbe ad una più ampia ricerca, relativa ai probabili catalizzatori della reazione di ossidazione.

In parole povere, estendere l'indagine agli esaltatori della combustione, capaci non solo di velocizzarla ma anche di consentirla negli ambiti fisici altrimenti ostativi. Tra questi, in particolare, quelli efficaci sull'acqua o sott'acqua, in grado di far sprigionare e non estinguere le fiamme anche quando abbondantemente cosparse d'acqua o addirittura immerse! Che composti del genere esistessero da tempo lo conferma un curioso episodio, accaduto nel 186 a.C. e tramandatoci da Livio, che lo accenna, senza la benché minima me-

Sotto: *Quadro con baccanti nel delirio dionisiaco.*
A fianco: *Matrona romana con torcia accesa.*
In alto: *La candela romana.*

raviglia, considerandolo un semplice rito orgiastico. Così il brano[22]:

"*...le matrone con sembianti di baccanti e chiome scarmigliate, correvano al Tevere reggendo delle torce accese, e immerse quelle torce nell'acqua, poiché erano composte di zolfo vivo e calce, le ritraevano con la fiamma ancora accesa...*"[A52]

Dunque, stando alla citazione, l'episodio, che per inciso diede origine a un delicato processo reso scabroso dall'alta reputazione delle famiglie coinvolte, e dall'elevatissimo numero di imputate - secondo alcune fonti diverse centinaia - sfociò in un senatoconsulto sui Baccanali dal quale scaturì la messa al bando dei misteri bacchici (già ampiamente diffusi ad opera della sacerdotessa Annia Pacula in Campania ed in Etruria), ebbe questo svolgimento. Nel cuore della notte, numerose matrone più o meno invasate, o molto più probabilmente ubriache, reato che per le donne era passibile della pena di morte, raggiunta la riva del Tevere, immergevano nella sua acqua delle singolari torce accese, impregnate di calce e zolfo, e le ritraevano ancora fiammanti. Il fenomeno che Livio tenta di spiegare, non può però ascriversi alla semplice presenza di zolfo e calce viva, ma implica reagenti più sofisticati, gli stessi che andranno a far parte del fuoco greco e, verosimilmente, ancora prima di giochi pirotecnici quali la candela romana, per lo più a base di salnitro.

7. Fuoco bellico

7.1 Fuoco per combattere: specchi ustori

Sugli specchi ustori che Archimede avrebbe messo in opera, per incendiare a distanza le navi della flotta romana che stringevano d'assedio Siracusa, molto si è fantasticato e, per contro, quasi nulla si è mai riusciti a riscontrare. Il che ha finito per far relegare la vicenda nell'ambito della pura fantasia, della puerile leggenda. Tuttavia, una storia così singolare non può inventarsi di sana pianta, mancandole il presupposto tecnico indispensabile. Nessuno né allora né dopo, infatti, poteva sapere e, meno ancora per quanto detto, verificare sperimentalmente che fosse possibile concentrando con degli specchi i raggi del sole accendere alcunché. A meno che non ci si fosse ispirati alla accensione della torcia olimpica che secondo Plutarco era effettuata con i raggi del sole. Ma ciò che più stupisce della vicenda è il silenzio, proprio in merito ai presunti specchi, dei maggiori storici che tramandano l'assedio di Siracusa, Polibio, Livio e Plutarco. Ne parla il solo Dione Cassio, ben quattro secoli dopo, e i suoi scritti ci sono pervenuti solo

22 T. LIVIO, *Ab Urbe condita*, lib. XXXIX, 13.
A52 Testo originale Allegato 52, in Allegati.

A fianco, in alto ed al centro: *Antiche stampe raffiguranti Archimede e gli specchi ustori.*
A fianco, in basso: *Museo degli Uffizi, Stanzino delle matematiche: uno specchio ustorio in azione contro una nave.*

attraverso sintesi medievali, che rendono impossibile accertarne la plausibilità.[23]

Se mancano le descrizioni di prima mano non difettano le allusioni, come quella di Luciano di Samosata (121-181), autore reputato attendibile, che riferendosi ad Archimede gli attribuisce l'incenerimento della flotta romana. Così pure Galeno di Pergamo (129-200) per il quale Archimede avrebbe incendiato le navi romane, ma con una certa ambiguità circa i mezzi impiegati. Chiaro ed esplicito, ma ancora più lontano dall'assedio, Antemio di Tralle (474-534) architetto celebre per la costruzione della basilica di S. Sofia a Costantinopoli. Scriveva, infatti [24]:

"*Come si può, ad un tiro d'arco, appiccare un incendio per mezzo dei raggi del sole? La scelta del luogo deve essere tale che i raggi del sole vengano riflessi di fianco o persino in direzione opposta a quella del sole. Dal momento che risulta notevole la distanza, sembra impossibile quel risultato; ma come confermato dal grande Archimede, la cui impresa è a tutti nota, ciò è possibile per quanto detto prima. Archimede per trovare in che punto collocare uno specchio piano per dirigere i raggi del sole su un preciso bersaglio, dimostrò inizialmente che l'angolo incidente è uguale all'angolo riflesso, per cui avendo collocato opportunamente lo specchio reputò che aumentandone il numero, facendo convergere i raggi riflessi da tutti in un unico punto, sarebbe stato più facile, grazie alla convergenza, arrivare alla sua combustione. Pertanto quando un oggetto capita in questo punto, prima si arroventa l'aria ad esso intorno, per cui unendosi le due energie, quella del sole e quella dell'aria incendiata attorno, aumentano la temperatura. Per realizzare questa intuizione si devono immaginare specchi in varie collocazioni, tuttavia per evitare troppo complesse manovre (occorrendone non meno di 24) è meglio ricorrere ad un diverso sistema, ovvero fissare gli specchi piani su di un supporto a forma di esagono, consentendo ad ognuno di muoversi con delle cerniere. Ne occorrono perciò così composti, da quattro a sette. Non a caso tutti gli autori che menzionano la vicenda degli specchi di Archimede non parlano mai di un unico specchio ma di un insieme di numerosi.*"

Debutta così, in maniera esplicita il criterio dei numerosi specchi piani convergenti tramite un apposito meccanismo. Forse si trattò di un grande specchio diviso in scomparti esagonali, forse di tanti piccoli specchi, di certo l'archeologia sperimentale ha dimostrato

Una centrale solare a specchi.

che quel congegno poteva funzionare: ad un centinaio di metri di distanza una nave di legno calafatato ed una velatura di tela, prendevano rapidamente fuoco!

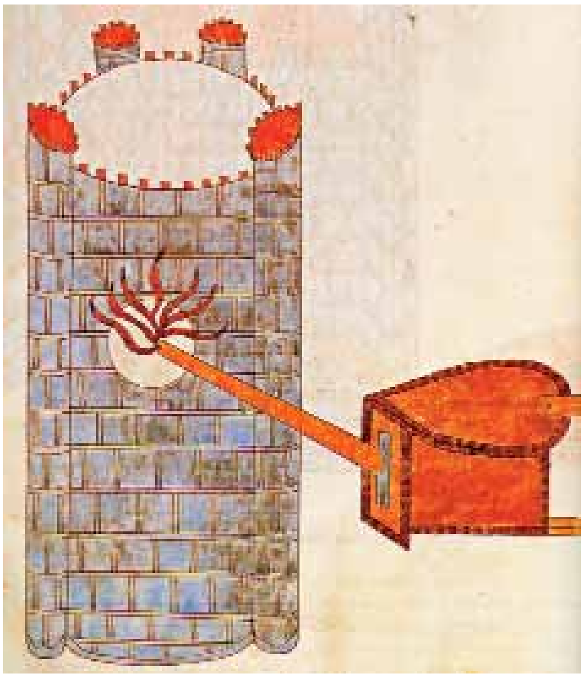
Gli ultimi residui dubbi in materia sono stati fugati dalle moderne centrali solari in cui con un gran numero di specchi piani si fanno convergere i raggi su di un'unica caldaia, che raggiunge perciò una elevatissima temperatura. Sia l'archeologia sperimentale che le centrali eliotermiche dimostrano, però, la sensatezza dell'idea ma non la sua effettiva attuazione, per cui l'episodio resta sempre ai confini della leggenda.

7.2 Il lanciafiamme di Tucidide

Scafi di legno stagionato, e frequentemente calafatati con pece ed olio, risultavano prede ideali per le fiamme, di qualunque natura e in qualunque modo li avessero investiti. Logico, pertanto, l'ampio ricorso a sostanze incendiarie, solide o liquide, nella guerra navale, riversate sulle imbarcazioni nemiche con appositi ordigni scagliati da macchine da lancio o da sofisticati proiettori. Tra gli archetipi di questi ultimi Tucidide ce ne descrive uno inventato dai Beoti, nella guerra del Peloponneso, per attaccare il campo trincerato ateniese di Delio. Il rudimentale lanciafiamme constava di un tubo di legno rivestito di lamiera, alla cui estremità posteriore stavano collegati due grossi mantici mentre a quella anteriore era sospeso un largo braciere. In dettaglio stando allo storico:[25]

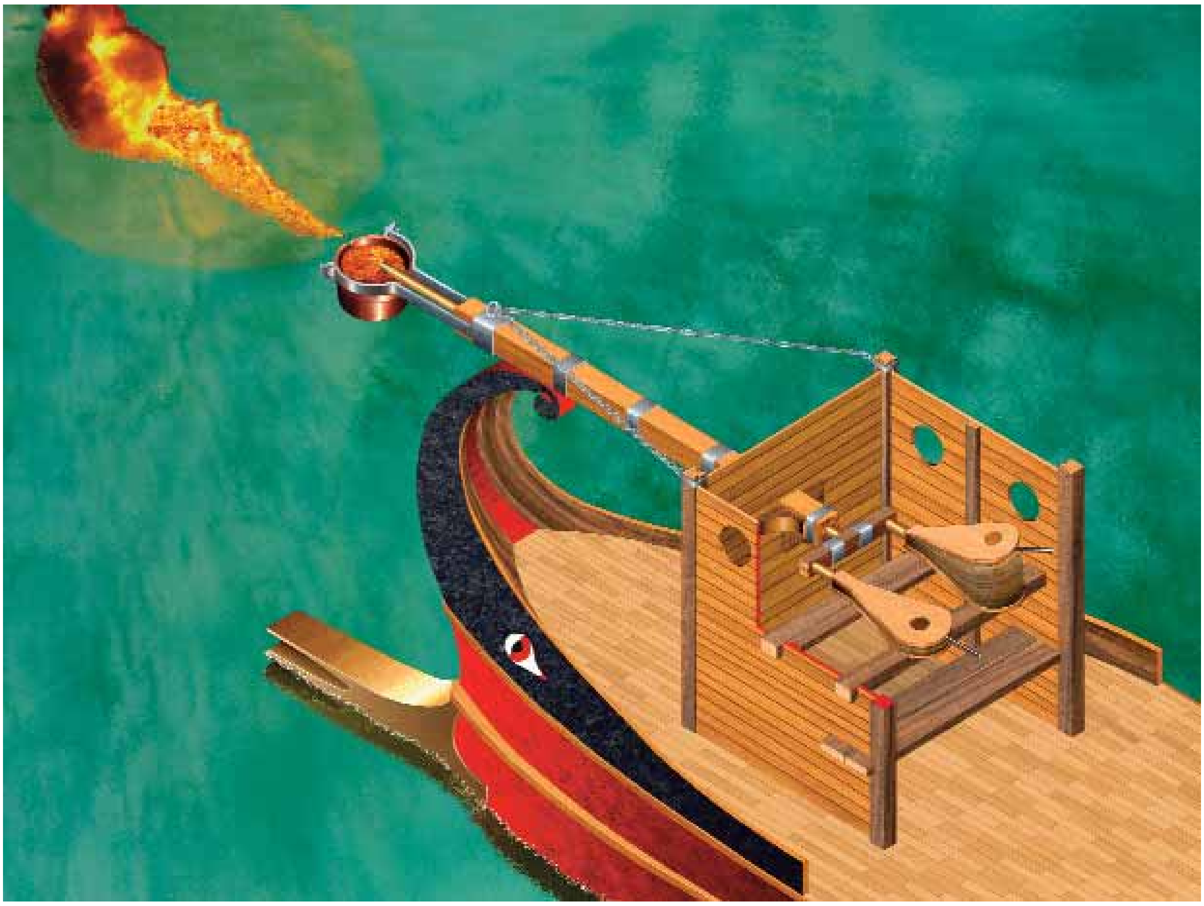
"*...tagliata in due una grossa trave, la svuotarono tutta e la riadattarono come fosse un flauto. Ad una estremità per mezzo di catene vi appesero un braciere e posero in esso un tubo di ferro che*

23 Cfr. V. MELEGARI, *I grandi assedi*, Milano 1972, pp. 40-43.
24 ANTEMIO di TRALLE, *Paradossi Meccanici*.
25 Da TUCIDIDE, *La guerra del Peloponneso*, lib. IV, 100, 1-4.



proveniva dalla trave; ed era rinforzato di ferro per gran tratto anche il resto della trave. Coi carri la accostarono alle mura da lontano, là dove esse erano costruite soprattutto con le viti e il legname. Quando la macchina fu vicina, introdotti dei grossi mantici alle estremità della trave dalla parte loro vi soffiavano. Con il soffio, arrivato violentemente al braciere pieno di carboni ardenti, zolfo e pece, fece sorgere una gran fiamma e diede fuoco al muro, sì che nessuno poté restarvi, ma dovettero abbandonarlo e darsi alla fuga: in tal modo il muro fu preso."

Sopra: *Miniatura del lanciafiamme di Tucidide secondo Apollodoro di Damasco.*
A fianco: *Un grafito che tramanda un lanciafiamme navale del tipo descritto da Tucidide.*
Sotto: *Ricostruzione virtuale del lanciafiamme di Tucidide.*



In linea di larga massima il congegno descritto, più che un lanciafiamme propriamente detto, deve considerarsi un gigantesco cannello ferruminatorio, del tipo di quelli usati già da millenni dagli orafi egiziani. In quanto tale poteva generare una fiamma dardiforme ad alta temperatura, capace di calcinare persino le pietre delle muraglie e di incendiare, in pochi istanti, ogni struttura di legno. Per la sua semplice, quanto terribile, efficacia trovò sicuro impiego nei combattimenti navali, ovviamente con alcune significative ma non stravolgenti modifiche. La trave cava divenne perciò una sorta di bompresso sorreggente un grosso braciere ben al di fuori della prua, per intuibili ragioni di sicurezza, che riusciva perciò ad incenerire qualsiasi battello nemico si fosse incautamente lasciato avvicinare a meno di una decina di metri.

Un eccezionale graffito, rinvenuto sulle pareti affrescate della Necropoli di Anfushi[26], presso Alessandria d'Egitto ed attribuito verosimilmente a un soldato di Giulio Cesare, raffigura una prora di nave da guerra sormontata da una curiosa torre da combattimento. Da essa, infatti, si protende anteriormente un lungo palo che appena più innanzi della prua sorregge un recipiente, simile ad un calderone, da cui si alzano numerose lingue di fuoco. Facile ravvisare, pur nell'approssimazione del graffito, un lanciafiamme del tipo di quello innanzi descritto, debitamente modificato ed alleggerito per renderlo idoneo all'impiego navale, restando all'interno della torre il gruppo dei mantici.

Il reperto di Valverde.

7.3 *Il lanciafiamme di Ctesibio: la pompa di Huelva Valverde*

Sul finire del XIX secolo nelle profondità di un'antica ed abbandonata miniera romana spagnola[27], ubicata a Huelva Valverde non lontano da Barcellona, fu scoperto un incredibile reperto. Si trattava d'un sofisticato meccanismo in metallo, un congegno in perfetto stato di conservazione, costituito di due cilindri coi relativi stantuffi e valvole, di una cassetta anch'essa cilindrica munita di due valvole e di un lungo tubo, capace di ruotare di 360°, recante all'estremità un nebulizzatore a contrasto meccanico, capace a sua volta di ruotare di 180°.

Dopo un'accurata pulizia il congegno, ben 26 pezzi, tutti di ottimo bronzo con le superfici esterne rivestite d'uno strato di zinco per preservarle da qualsiasi corrosione, finì al Museo Archeologico Nazionale di Madrid, dove ancora si trova in una distinta teca. Fatto salvo il curioso tubo snodato, nessun dubbio circa l'identificazione: una macchina di Ctesibio. Sebbene non così complete né di identica forma, altre infatti ne erano state trovate, tra le quali un paio anche di bronzo.

La macchina, come si è detto, constava di due cilindri, alti circa 26 cm con un diametro interno di 8.5, di una scatola di compressione, 16 cm di diametro per 4 di altezza, e di un tubo a snodi, lungo complessivamente quasi un metro e terminante con un singolare ugello a **Δ**. Quattro le valvole di non ritorno di due distinte tipologie; quanto ai cilindri mostrano dei cortissimi risalti per il fissaggio al supporto, come pure la scatola di compressione, tipici delle pompe romane a stantuffo. Che la tecnologia della pompa sia antica lo si evince da un dettaglio: l'alloggiamento per la spina della biella

26 Cfr. F. RUSSO, *Gli armamenti navali. Armamenti collettivi*, in M. MAURO (a cura di) *I porti antichi di Ravenna. Il porto Romano e le flotte*, vol. I, pp. 143-146.

27 Cfr. F. RUSSO, *Fuoco marino*, in *Rivista Marittima*, febbraio 2004.

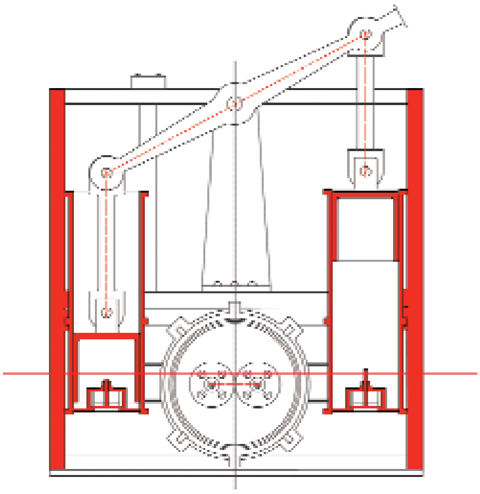
è ricavato sulla testa degli stantuffi e non al loro interno come negli stantuffi odierni. Straordinaria la loro precisione, ottenuta al tornio con una tolleranza di 0.1 mm rispetto ai cilindri. Di rilevante spessore il corpo dei cilindri stessi, necessario per l'alesatura.

Evidente per la scatola la funzione di stabilizzatore, per sopprimere la pulsazione del getto; altrettanto evidente per il terminale a **Δ** la funzione di nebulizzatore a contrasto. Un'immagine della pompa di Ctesibio completa di bilanciere e di nebulizzatore si trova in una riedizione rinascimentale della sua *Pneumatica*. Del contenitore e del bilanciere, tuttavia, non si è rinvenuto nulla, perché dissolti dall'umidità della miniera. È comunque sensato immaginarli somiglianti ad una moderna irroratrice a zaino, con la sola differenza della collocazione davanti al torace e non dietro le spalle. Molte, comunque, le interpretazioni che si scatenarono già all'indomani del ritrovamento. Ognuna però urtava contro la sua evidenza: il reperto appariva troppo piccolo e troppo complicato per una pompa idrovora o antincendio; il tubo snodato troppo sofisticato, dal momento che per dirigere il getto a destra o a sinistra sarebbe bastato deviare di poco una normale manichetta. Perché poi assemblare due cilindri, una scatola di compensazione e quattro valvole per evacuare la stessa quantità d'acqua che un secchio avrebbe raccolto in minor tempo? Perché un rivestimento di zinco quando il bronzo notoriamente resiste nell'acqua salata svariati millenni? Un'ipotesi affatto irreale potrebbe consistere nel ravvisarvi i resti di un sifone lanciafiamme bizantino.

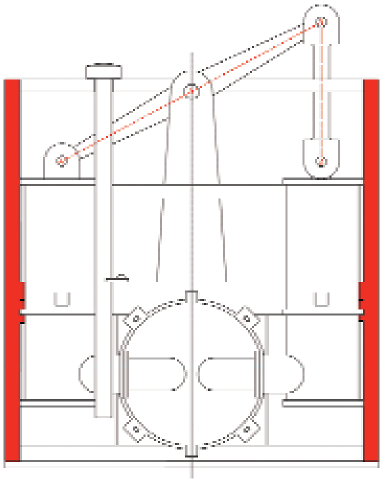
Stando alle pagine dell'*Alessiade* scritto dalla principessa Anna Comnena, figlia dell'imperatore Alessio Comneno (1081-1118), il terrificante fuoco greco veniva proiettato tramite gli *strepta* e per mezzo di tubi, verso qualunque punto volesse il direttore del tiro, da destra a sinistra e dall'alto in basso. Il che lascia facilmente immaginare un tubo dotato di uno snodo universale, un tubo flessibile. Ed appunto col termine *flessibile* viene abitualmente tradotto l'enigmatico vocabolo greco *strepta*. Ma una simile interpretazione non fornisce alcuna spiegazione sulla pressione necessaria per la proiezione. Occorre una pompa e, prima del suo ugello di lancio, un nebulizzatore per esaltarne le prestazioni.

È risaputo che i cosiddetti mangiafuoco per mutare in una nube ardente un sorso di benzina, lo espellono a labbra serrate trasformandolo in un aerosol, prima di accenderlo con una torcia. Traducendo *strepta* come *ritorto*, *piegato* o *angolato*, definizione perfettamente calzante ad un ugello di espulsione angolato, si avrebbe un nebulizzatore del liquido in pressione

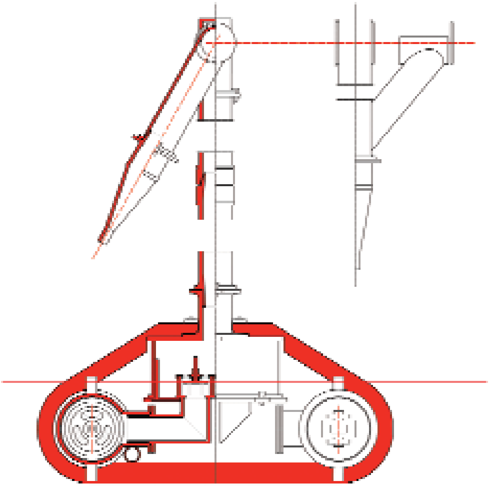
In alto: *Un mangiafuoco.*
Sotto: *Raffigurazione in un codice medievale di uno scontro navale con lancio di fiamme.*



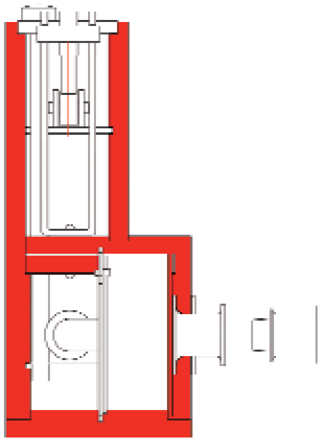
SEZIONE
LONGITUDINALE



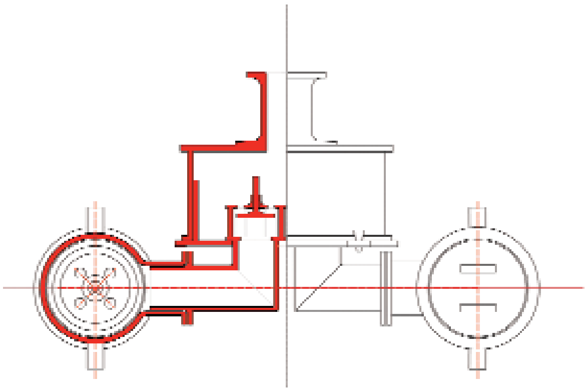
PROSPETTO



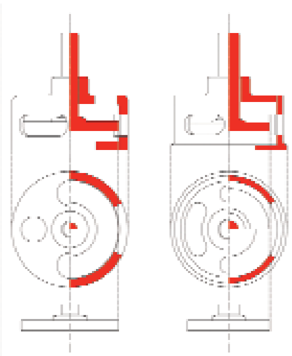
PIANTA



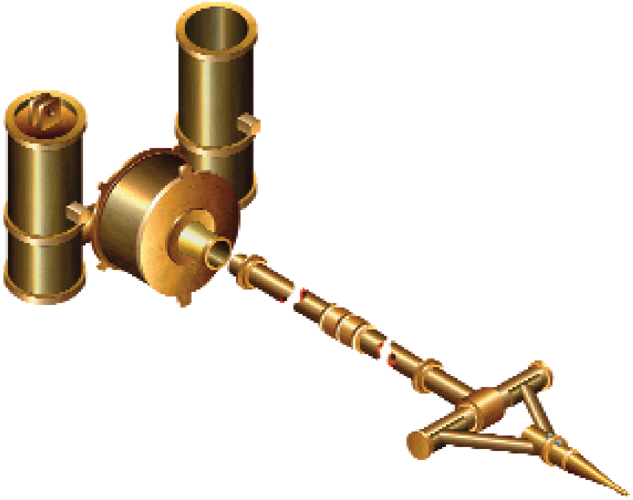
SEZIONE
TRASVERSALE

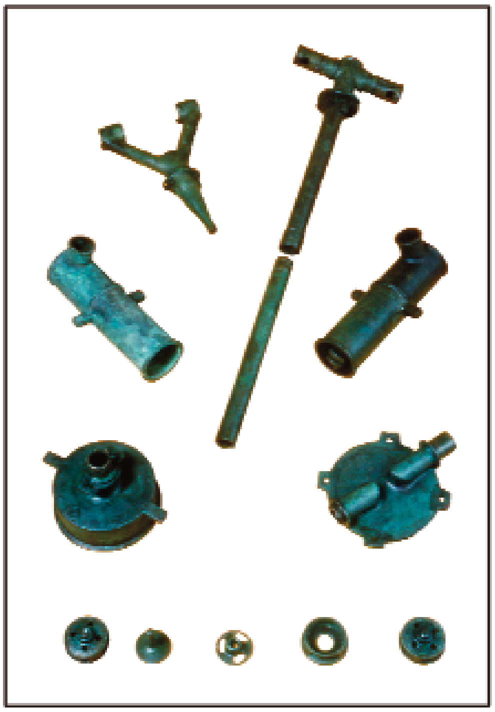


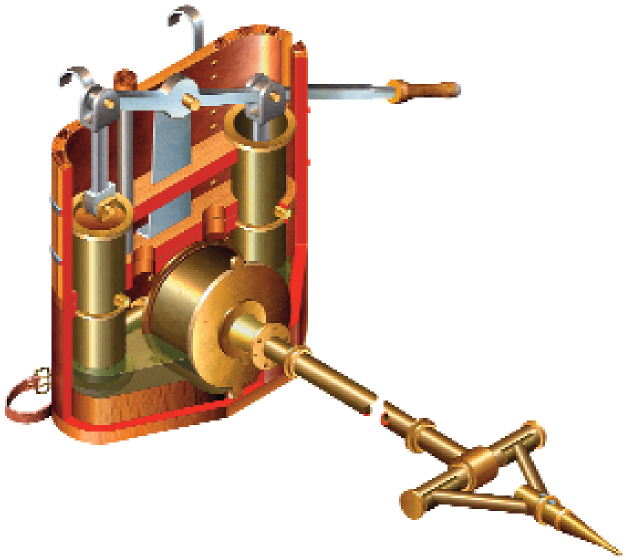
PARTICOLARE IN PIANTA

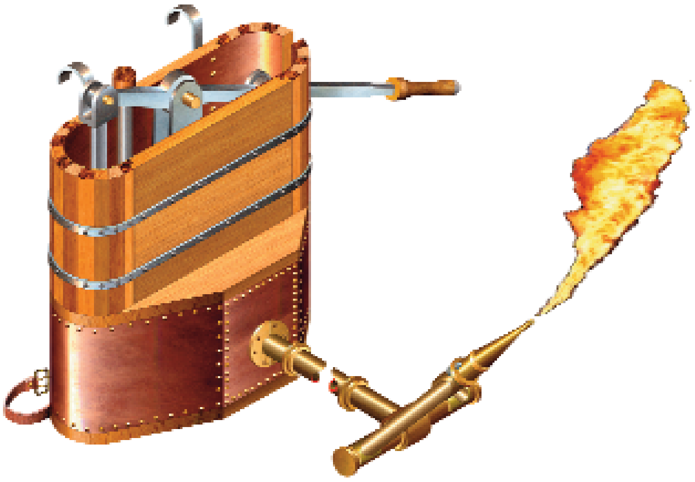


PARTICOLARE VALVOLE

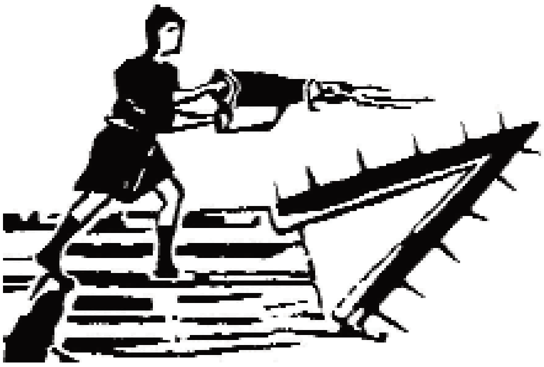








Nella pagina a fianco: *Ricostruzione grafica del probabile lanciafiamme bizantino.*
In questa pagina: *Ricostruzione virtuale, sezionata e completa, dello stesso.*
Nel riquadro: *I reperti originali dello stesso.*



In alto: Raffigurazione di impiego lanciafiamme manesco da un codice medievale.
Sopra: *Un moderno lanciafiamme.*
A fianco: *Dettaglio di una valvola del reperto di Valverde.*

inviatogli da una pompa a doppio effetto, cioè da un *sifone.* Non tutti gli studiosi ritengono che quel sifone fosse la pompa di Ctesibio: per alcuni il vocabolo, in greco *sifonon,* significa solo *tubo.* L'obiezione, sensata per il greco e per il latino decadente, non risulta tale per il latino raffinato: la denominazione usuale e specifica di tubo è quella di *fistola*, mentre il sifone definisce la pompa a doppio effetto. Quanto al greco il vocabolo *sifone* indica sia il tubo che la pompa a doppio effetto. A favore di quest'ultima accezione, tuttavia, interviene la voce verbale *sifonizo = aspiro come un sifone*, azione che nessun tubo è in grado di effettuare senza essere connesso ad una pompa! Inoltre sia Erone che Plinio il Giovane chiamano *sifone* una pompa antincendio a doppio effetto, stesso nome che aveva abitualmente la pompa di sentina.

La somiglianza di un sifone lanciafiamme con un sifone di evacuazione o antincendio finisce qui, proprio per l'esigenza di un nebulizzatore prima della lancia. Secondo una consuetudine la denominazione di una componente finisce per definire l'intero congegno: la presenza di un turbo compressore ha fatto chiamare *turbo* l'intero motore. Nessuna meraviglia perciò che l'adozione d'un nebulizzatore angolato sia l'origine di *strepta,* cioè l'*angolato* per antonomasia, dei quali se ne conoscevano alcuni di tipo portatile ed individuali. Una precisazione va fatta, infine, circa la modalità di impiego dei sifoni individuali: non trovavano certamente impiego, almeno in condizioni normali, come arma antiuomo, essendo breve la gittata e troppo rischioso l'impiego così ravvicinato. Erano utilizzati, invece, per distruggere nel corso degli assedi, durante le sortite notturne, le macchine ossidionali nemiche, facili da incendiare con pochi lanci di liquidi pirofori particolarmente infiammabili e di arduo spegnimento, come il cosiddetto fuoco greco.

7.4 Un altro probabile lanciafiamme a pompa monocilindrica

Presso l'*Antiquarium* comunale di Roma (Musei Capitolini) è custodito un singolare reperto, del quale purtroppo si ignora sia l'epoca che il sito del ritrovamento. Incerta pure la sua verosimile collocazione storica: unica certezza la sua acquisizione nel 1888. A un sommario esame l'oggetto appare costituito da due cilindri paralleli, uno maggiore e uno minore, che rivelano di essere i corpi rispettivamente di una pompa a stantuffi e di un serbatoio di accumulo. Quanto alla pompa, tuttavia, pur tradendo evidenti analogie con le similari rinvenute in Spagna e in Gran Bretagna, per lo più fatte risalire al III- IV secolo d.C., ostenta una sua singolarità che la rende notevolmente più interessante: sia il cilindro che la biella sono unici per entrambi gli stantuffi e non hanno alcun bilanciere, essendo azionati da una sola leva.

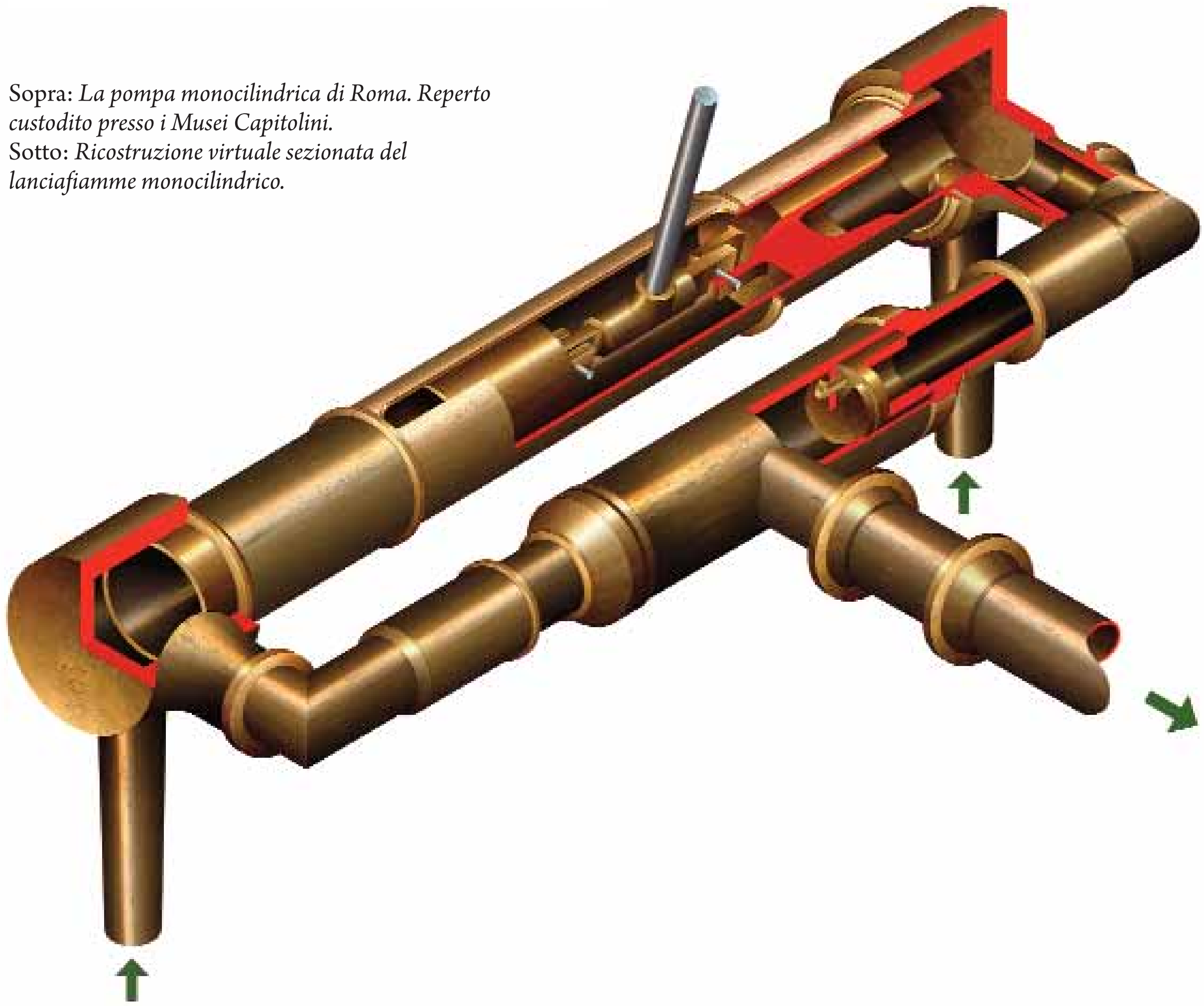
La soluzione appare straordinariamente innovativa ed aderente ad uno schema tecnico che trova un

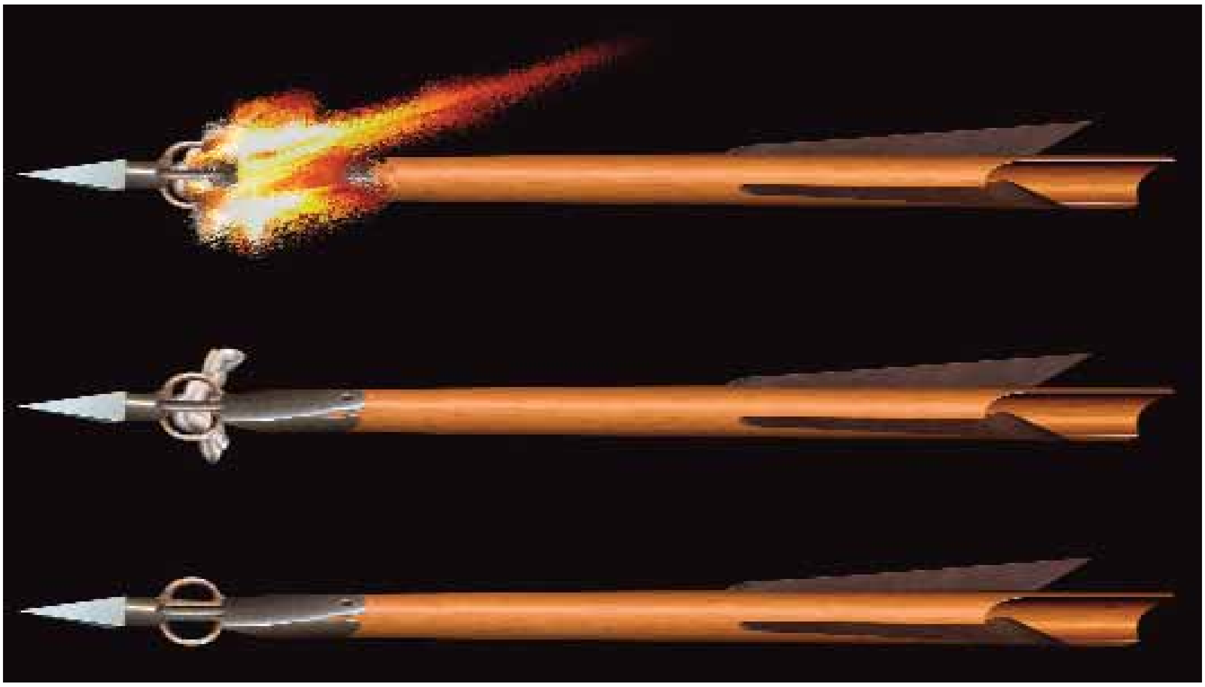
preciso riscontro storico nel curioso mantice a stantuffo cinese e nel coevo lanciafiamme, realizzato verosimilmente nel medesimo scorcio cronologico, magari dagli stessi inventori. Anche questa pompa, perciò, potrebbe essere stata ben diversa da una piccola macchina idraulica di enigmatico impiego. Del resto che la macchina di Ctesibio si prestasse all'adozione in sofisticate armi lo dimostra proprio la sua balista a molle pneumatiche.

7.5 Proietti incendiari e fuoco greco

Una recente pellicola mostra nelle sue sequenze iniziali la preparazione campale effettuata dalle artiglierie nevrobalistiche romane, caricate con proietti incendiari. Per la solita mancanza di esplicite conferme la ricostruzione ha sollevato qualche perplessità: intorno al III secolo d.C. esistevano realmente proietti del genere? O per meglio dire liquidi capaci di produrre esiti incendiari siffatti? E da cosa se ne deve arguire l'esistenza, essendo ovviamente assurdo sperare in un eventuale rinvenimento di un qualunque esemplare?

Sopra: *La pompa monocilindrica di Roma. Reperto custodito presso i Musei Capitolini.*
Sotto: *Ricostruzione virtuale sezionata del lanciafiamme monocilindrico.*





Sopra: *Ricostruzione virtuale di frecce incendiarie romane.* A fianco: *Dettaglio di* aryballos *in bronzo e vetro rinvenuta a Pompei, datata I sec. d.C.. In pratica un'antesignana bottiglia* molotov. *Ben evidente il fondo esagonale della gabbia di bronzo.*

In realtà degli accenni, e data la delicatezza della materia è persino tanto, nei classici si trovano: sappiamo così delle frecce incendiarie con le cuspidi ad arpione per infiggersi nelle macchine nemiche o nelle strutture lignee che si volevano incendiare. Sappiamo pure della falarica, ed è Livio a lasciarcene la descrizione, precisando che l'arma con la sua cuspide accesa, veniva scagliata da una balista. Arma che secondo Ammiano Marcellino non poteva essere spenta se non coprendola di terra. In una raccolta del X-XII secolo di antiche ricette per pirofori, chiaramente di epoca romana se non ellenistica, intitolata *Mappae Clavicola*, si parla di zolfo, olio di trementina, resine e nafta. In essa: "*sono descritte, col nome di frecce porta fuoco, delle frecce vuote, la cui cavità interna era riempita con un miscuglio di nafta, pece, zolfo, sale e stoppa: spesse volte la tubolatura era coperta di rame per impedire che la composizione incendiaria si consumasse prima che la freccia fosse giunta a destinazione.*

*I vasi di fuoco erano recipienti di coccio (*vasa fictilia*) riempiti di stoppa imbevuta di un miscuglio di bitume liquido, di pece e di zolfo, e muniti di una miccia solforata. Venivano briccolati con apposite macchine; al momento della caduta il vaso si rompeva e la composizione incendiaria andava a contatto dell'oggetto colpito. Di questa specie di proietti fanno parola: Appiano, s*ulphur et picem in vasis fundis emittebant*; Dionisio di Alicarnasso*, bitumane et pice fervida vasa repleta fundis inferentes, *e Frontino,* amphoras pice et teda plenas… iaculatus est. *Il loro uso fu generale e grande, specialmente negli attacchi marittimi di Demerito contro Rodi (304 a.C.), e nelle battaglie navali che avvennero durante la seconda guerra punica. Lanciavansi anche delle pietre porose dopo averne riempito le cavità con materie infiammabili ed avervi appiccato il fuoco.*"[28]

28 E. BRAVETTA, *L'artiglieria e le sue meraviglie*, cap. 2 pp. 21-39. Milano, 1939.

8. Resistere al fuoco

8.1 Sacchi e tute di amianto

Complementare del fuoco è la tecnica per averne ragione, per resistere immuni alla sua aggressione, per sopravvivere anche per poco tra le fiamme. Fino a pochi decenni or sono per noi erano comuni le tute antincendio dei vigili del fuoco, realizzate in tessuto di *amianto*, fibra che effettivamente non solo non brucia ma offre un discreta protezione dal calore. Disgraziatamente, però, appunto di recente se ne è scoperta la sua estrema letalità per gravissime e mortali forme di neoplasie polmonari, meglio note come *epitelioma*. Ad onta di tanta funesta celebrità l'amianto continua ad essere estratto ed utilizzato nelle più svariate forme in numerosi paesi del mondo, che ignorandone la minaccia speculano sui vantaggi. Che, purtroppo, non sono pochi vantando un'ampia gam-ma di applicazioni sin dalla più remota antichità, tutte connesse con la sua capacità di isolare dal fuoco, o in epoca più recente anche dal rumore, unitamente alla peculiarità per la sua natura fibrosa di essere facilmente filato in tessuti indistruttibili.

Assodato che i tessuti filati con l'*asbesto*, nome usato nell'antichità per l'amianto, non bruciavano, fra i più antichi impieghi si pensò di farne delle tuniche regali, più che altro dei sacchi, all'interno dei quali venivano posti i cadaveri dei sovrani prima di essere cremati sulle pire. Non occorreva al termine della combustione tentare di individuarne i resti fra le ceneri, restando all'interno del sacco: nessun inganno, nessuna magia, per cui Plinio poteva giustamente asserire[29]:

L'amianto, simile all'allume, non si consuma a causa del fuoco; esso resiste a tutte le stregonerie, specialmente a quelle dei maghi.[A53]

Per l'importanza e il conseguente altissimo costo che nel frattempo quel tipo di tessuto si era guadagnato lo si ritenne idoneo anche per tessere paramenti sacri, al pari delle altre fibre preziose, e di ciò se ne trova un laconico riscontro nel Protovangelo di Giacomo[30]:

Le introdussero poi nel tempio del Signore, e il sacerdote disse: Su, tirate a sorte chi filerà l'oro, l'amianto, il bisso, il giacinto, lo scarlatto e la porpora gemina. A Maria toccò la porpora gemina e lo scarlatto: li prese e se ne ritornò a casa sua.

29 PLINIO, *Naturalis Historia*, XXXVI, 139.
A53 Testo originale Allegato 53, in Allegati.
30 Protovangelo di GIACOMO, *Natività di Maria* 10, 1 2-4 d.C..

Fibre di amianto.

In seguito se ne fecero anche tovaglie che, forse per accrescere con lo stupore la percezione della ricchezza dei proprietari, quando macchiate dopo un banchetto invece di essere lavate nell'acqua venivano gettate nel fuoco da dove uscivano perfettamente candide e pulite. Anche di quest'uso, che ha lasciato dei reperti materiali, tra i quali un ampio sudario rinvenuto agli inizi del '700 in una tomba, ed attualmente custodito nei Musei Vaticani, Plinio dà preciso riscontro[31]:

È stato anche scoperto, ormai da tempo, un lino che non brucia. Lo chiamano vivo, e abbiamo visto tovaglioli fatti con quel tessuto ardere nei bracieri dei banchetti per poi venirne fuori, bruciata ogni traccia di sporco, resi dal fuoco più candidi di quanto avrebbe potuto fare l'acqua. Di questo materiale sono fatte le tuniche funebri dei re, in modo che le ceneri del corpo possano essere separate dalle altre. Questa fibra nasce nelle zone desertiche e bruciate dal sole dell'India, dove non cade la pioggia, fra serpenti dal veleno mortale, e si abitua a vivere con la calura che la arde; la si trova raramente ed è difficile da tessere, perché la fibra è corta; per il resto ha un colore fulvo che diventa più brillante nel fuoco.[A54]

Le inesattezze ovviamente non mancano, ma nel brano immediatamente seguente Plinio tratteggia un'altra caratteristica dell'amianto, che ha contribuito a trasformarlo per noi in una sorta di incubo onnipresente e di improba rimozione: la sua capacità di isolare acusticamente. Così al riguardo[32]:

Questo materiale quando lo si trova raggiunge il valore delle perle più pregiate. Dai Greci viene detto asbéstino per le sue proprietà naturali; secondo Anassilao un albero, cui il tronco sia stato avvolto con un tale tessuto, può essere abbattuto con colpi attutiti e smorzati tanto da non potersi sentire.[A55]

31 PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. XIX, 4, 19-20.
A54 Testo originale Allegato 54, in Allegati.
32 PLINIO, *Naturalis Historia*, lib. XIX, 4, 20.
A55 Testo originale Allegato 55, in Allegati.

9. Motori termici

Alla nostra mentalità pragmatica e speculativa ripugna pensare che si possano ideare congegni di notevole complessità e rilevanza senza una precisa esigenza e senza altro stimolo che il puro diletto. Assurdo immaginare delle macchine o dei processi tecnologici rivoluzionari per il bene dell'umanità, bloccati allo stadio di trastullo per adulti benestanti, affrancati da ogni impegno lavorativo. Eppure questo fu l'atteggiamento dei massimi intelletti dell'età classica dinanzi alle loro più avanzate elucubrazioni. Si spiega così l'apparente paradosso di ravvisare, alle spalle di molte invenzioni che cambiarono il mondo negli ultimi due secoli, precisi precursori di due millenni più antichi. Tra le due manifestazioni del medesimo pensiero, il vuoto, imputabile al ripudio del lavoro manuale, prassi accentuata da una oscura religiosità.

Nessuna meraviglia, pertanto, che intorno al II secolo a.C. Erone di Alessandria, abbia concepito e realizzato due piccolissime, quanto rivoluzionarie, turbine a vapore di cui una addirittura a reazione. Conscio, per le molteplici esperienze e indagini sulla potenza dinamica del vapore, ne vagliò l'uso come fluido motore. In dettaglio osservò che ponendo su di una fiamma un recipiente metallico, parzialmente pieno d'acqua ed ermeticamente chiuso ad eccezione di un minuscolo foro, dopo breve tempo un sibilo annunciava la fuoriuscita del vapore. Collocando dinanzi al getto rovente una piccola ruota a pale questa girava vorticosamente, fino all'esaurimento dell'acqua.

Erone non poteva neppure lontanamente immaginare che macchine, funzionanti secondo l'identico principio ma di mostruosa potenza, si sarebbero fatte carico di sostenere tutta la fatica fisica delle future metropoli!

9.1 La turbina a vapore a reazione

Non contento di quella prima significativa dimostrazione della potenza dinamica del vapore, ne ideò una seconda per l'epoca ancora più stupefacente. Lo stimolo glielo fornì la constatazione che quella sorta di caldaia, durante l'emissione del vapore, si spostava leggermente nella direzione opposta. In assoluto il fenomeno non appariva inedito, costituendo una frequente esperienza il moto di un otre galleggiante, quando si sgonfiava su di uno specchio d'acqua. Pertanto, vagliate le analogie costruì una sfera cava di bronzo, munendola di un asse e di quattro ugelli angolati sul relativo equatore. Riempitala parzialmente d'acqua e collocato l'asse sopra due forcelle, pose il singolare congegno su di un braciere. In breve il vapore iniziò ad uscire violentemente dagli ugelli, che per la loro angolazione generavano una coppia di reazione sul recipiente-caldaia facendolo ruotare. Erone forse ne intuì la spiegazione, forse ne immaginò pure l'importanza, ma non ne poté in alcun modo pronosticare le applicazioni, limitandosi a battezzare quel curioso giocattolo *eolopila*, palla a vento.

Non seppe, perciò, mai che quella sibilante trottola era il debutto di una nuova tipologia di girante: la sua palla a vento, infatti, costituiva l'archetipo della turbina a reazione, propulsa nella fattispecie da ben quattro reattori!

Neppure poteva lontanamente immaginare che motori della stessa concezione avrebbero consentito, oltre venti secoli dopo, di passeggiare sulla Luna.

A fianco: *L'eolipila di Erone in una moderna ricostruzione.*

Allegati

A1 Vitruvio, De architectura, lib. X

Ipsa tum debet eorum foraminum magnitudo capituli deformari altitudo et latitudo. Tabulae quae sunt in summo et in imo capituli peritretique vocantur, fiant crassitudine unius foraminis, latitudine unius et eius dodrantis, in extremis foraminis unius eius S. Parastaticae dextra ac sinistra praeter cardines altae foraminum IIII, crassae foraminum quinum cardines foraminis dimidii, a parastatica ad foramen spatium foraminis S9, a foramine ad medianam parastaticam item foraminis S9. Latitudo parastados mediae unius foraminis et eius TK, crassitudo foraminis unius.

Intervallum, ubi sagitta conlocatur in media parastade, foraminis partis quartae. Anguli quattuor, qui sunt circa, in lateribus et frontibus lamnis ferreis aut stylis aereis et clavis configantur.

A2 Pseudo Hygino, De munitionibus castrorum

12- In introitu praetorii partis mediae ad viam principalem gromae locus appellatur quod turba ibi congruat sive in dictatione metationis posito in eodem loco ferramento groma superponatur, ut portae castrorum in conspectu rigoris stellam efficiant. Et professores eius artis causa supra scripta gromatici sunt cognominati.

A3 Pseudo Hygino, De munitionibus castrorum

1- Nunc papilionum tensionem cohortium supra scriptarum ostendimus. Papilio unus occupat pedes X, accipit incrementum tensurae pedes II, tegit homines VIII. Plena centuria habet milites LXXX: erunt papiliones X, qui decurrunt in longitudine pedum CXX. Nam quod ad latitudinem [est] hemistrigii pedum XXX attinet, papilioni dantur pedes X, armis pedes V, iumentis pedes VIIII: fiunt pedes XXIIII; hoc bis XLVIII: quoniam, cum contrariae tendent, efficitur striga pedum LX, reliqui pedes XII qui conversantibus spatio sufficient. Haec pedatura ad plenam centuriam est computata. Ex quibus in vigiliis singulis <quaterni> erunt et non plus quam octonos papiliones singulae tendunt. Ita fiet ut centurio eorum in eadem pedatura eorum papilionum tensionem accipiat; alioquin plus dari oportuisset.

A4 Vitruvio, De architectura, lib. X, 9, 1-4

1. Transfertur nunc cogitatio scripturae ad rationem non inutilem sed summa sollertia a maioribus traditam, qua in via raeda sedentes vel mari navigantes scire possimus, quot milia numero itineris fecerimus. Hoc autem erit sic. Rotae, quae erunt in raeda, sint latae per medium diametrum pedum quatern ûm [et sextantes], ut, cum finitum locum habeat in se rota ab eoque incipiat progrediens in solo viae facere versationem, perveniendo ad eam finitionem, a qua coeperit versari, certum modum spatii habeat peractum pedes XII S ((1/2)).

2. His ita praeparatis tunc in rotae modiolo ad partem interiorem tympanum stabiliter includatur habens extra frontem suae rotundationis extantem denticulum unum. Insuper autem ad capsum raedae loculamentum firmiter figatur habens tympanum versatile in cultro conlocatum et in axiculo conclusum, in cuius tympani fronte denticuli perficiantur aequaliter divisi numero quadringenti convenientes denticulo tympani inferioris. Praeterea superiori tympano ad latus figatur alter denticulus prominens extra dentes.

3. Super autem planum eadem ratione dentatum inclusum in altero loculamento conlocetur, convenientibus dentibus denticulo, qui in secundi tympani latere fuerit fixus, in eoque tympano foramina fiant, quantum diurni itineris miliariorum numero cursus raedae possit exire. Minus plusve rem nihil inpedit. Et in his foraminibus omnibus calculi rotundi conlocentur, inque eius tympani theca, sive id loculamentum est, fiat foramen unum habens canaliculum, qua calculi, qui in eo tympano inpositi fuerint, cum

ad eum locum venerint, in raedae capsum et vas aeneum, quod erit suppositum, singuli cadere possint.

4. Ita cum rota progrediens secum agat tympanum imum et denticulum eius singulis versationibus tympani superioris denticulos inpulsu cogat praeterire, efficiet, <ut> cum CCCC imum versatum fuerit, superius tympanum semel circumagatur et denticulus, qui est ad latus eius fixus, unum denticulum tympani plani producat. Cum ergo CCCC versationibus imi tympani semel superius versabitur, progressus efficiet spatia pedum milia quinque id est passus mille. Ex eo quot calculi deciderint, sonando singula milia exisse monebunt. Numerus vero calculorum ex imo collectus summa diurni <itineris> miliariorum numerum indicabit.

A5 Vitruvio, De architectura, lib. X, 9, 5-7

5. Navigationibus vero similiter paucis rebus commutatis eadem ratione efficiuntur. Namque traicitur per latera parietum axis habens extra navem prominentia capita, in quae includuntur rotae diametro pedum quaternum et S ((1/2)) extantes habentes circa frontes adfixas pinnas aquam tangentes. Item medius axis in media navi <habet> tympanum cum uno denticulo extanti extra suam rotunditatem. Ad eum locum conlocatur loculamentum habens inclusum in se tympanum, peraequatis dentibus CCCC convenientibus denticulo tympani, quod est in axe inclusum, praeterea ad latus adfixum extantem extra rotunditatem alterum dentem unum.

6. Insuper in altero loculamento cum eo confixo inclusum tympanum planum ad eundem modum dentatum, quibus dentibus <convenit> denticulus, qui est ad latus fixus tympano, quod est in cultro conlocatum, ut eos dentes, qui sunt plani tympani, singulis versationibus singulos dens inpellendo in orbem planum tympanum verset. In plano autem tympano foramina fiant, in quibus foraminibus conlocabuntur calculi rotundi. In theca eius tympani, sive loculamentum est, unum foramen excavetur habens canaliculum, qua calculus liberatus ab obstantia cum ceciderit in vas aereum, sonitu significet.

7. Ita navis cum habuerit impetum aut remorum aut ventorum flatu, pinnae, quae erunt in rotis, tangentes aquam adversam vehementi retrorsus inpulsu coactae versabunt rotas; eae autem involvendo se agent axem, axis vero tympanum, cuius dens circumactus singulis versationibus singulos secundi tympani dentes inpellendo modicas efficiet circumitiones. Ita cum CCCC ab pinnis rotae fuerint versatae, semel tympanum circumactum inpellet dente, qui est ad latus fixus, plani tympani dentem. Igitur circumitio tympani plani quotienscumque ad foramen perducet calculos, emittet per canaliculum. Ita et sonitu et numero indicabit miliaria spatia navigationis.

A6 Vitruvio, De architectura, lib. VIII, 6, 1-2

1. Nunc de perductionibus ad habitationes moeniaque, ut fieri oporteat, explicabo : cuius ratio est prima perlibratio. Libratur autem dioptris aut libris aquariis aut chorobate; sed diligentius efficitur per chorobaten, quod dioptrae libraeque fallunt. Chorobates autem est regula longa circiter pedum viginti: ea habet ancones in capitibus extremis aequali modo perfectos, inque regulae capitibus ad normam coagmentatos, et inter regulam et ancones a cardinibus compacta transversaria, quae habent lineas ad perpendiculum recte descriptas pendentiaque ex regula perpendicula in singulis partibus singula: quae, quum regula est collocata, eaque tangent aeque ac pariter lineas descriptionis, indicant libratam conlocationem.

2. Sin autem ventus interpellavit et motionibus lineae non potuerint certam significationem facere, tunc habeat in superiore parte canalem longum pedes quinque, latum digitum, altum sesquidigitum, eoque aqua infundatur; et si aequaliter aqua canalis summa labra tanget, scietur esse libratum. Ita eo chorobate quum perlibratum ita fuerit, scietur quantum habuerit fastigii.

A7 Vitruvio, De architectura, lib. IX, intr., 13-14

13. Transferatur mens ad Archytae Tarentini et Eratosthenis Cyrenaei cogitata. Hi enim multa et grata mathematicis rebus hominibus invenerunt. Itaque quum in ceteris inventionibus fuerint grati, in eius rei cocerationibus maxime sunt suspecti. Alius enim alia ratione explicare curavit, quod Delo imperaverat responsis Apollo, uti arae eius quantum haberent pedum quadratorum, id duplicaretur, et ita fore ut, hi qui essent in ea insula, tunc religione liberarentur.

14. Itaque Archytas hemicylindrorum descriptionibus, Eratosthenes organica mesolabi ratione idem explicaverunt. Quum haec sint tam magnis doctrinarum iucunditatibus animadversa, et cogamur naturaliter inventionibus, singularum rerum considerantes effectus, moveri; multas res attendens admiror etiam Democriti de rerum natura volumina et eius commentarium, quod inscribitur Χειροκμήτων, in

quo etiam utebatur annulo, signans ex milto quae esset expertus.

A8 Cicerone, De republica, lib. I, 14

...hoc autem sphaerae genus, in quo solis et lunae motus inessent et earum quinque stellarum quae errantes et quasi vagae nominarentur, in illa sphaera solida non potuisse finiri, atque in eo admirandum esse inventum Archimedi, quod excogitasset quem ad modum in dissimillimis motibus inaequabiles et varios cursus servaret una conversio. hanc sphaeram Gallus cum moveret, fiebat ut soli luna totidem conversionibus in aere illo quot diebus in ipso caelo succederet, ex quo et in [caelo] sphaera solis fieret eadem illa defectio, et incideret luna tum in eam metam quae esset umbra terrae, cum sol e regione.

A9 Vitruvio, De architectura, lib. X, 2, 1-2, 4-9

1. Itaque incipiemus de his, quae raro veniunt ad manus, ut nota sint, explicare. Primumque instituemus de his, quae aedibus sacris ad operumque publicorum perfectionem necessitate comparantur, quae fiunt ita. Tigna tria ad onerum magnitudinem ratione expediuntur, a capite fibula conjuncta et in imo divaricata eriguntur, funibus in capitibus collocatis et circa dispositis erecta retinentur : alligatur in summo trochlea, quem etiam nonnulli rechamum dicunt. In trochleam induntur orbiculi duo per axiculos versationes habentes; per orbiculum summum trajicitur ductarius funis, deinde demittitur et traducitur circa orbiculi imum trochleae inferioris, refertur autem ad orbiculum imum trochleae superioris, et ita descendit ad inferiorem, et in foramine ejus religatur; altera pars funis refertur inter imas machinae partes.

2. In quadris autem tignorum posterioribus, quo loci sue divaricata, figuntur chelonia, in quae conjiciuntur sucularum capita, ut faciliter axes versentur. Eae suculae proxime capita habent foramina bina ita temperata, ut vectes in ea convenire possint. Ad rechamum autem imum ferrei forcipes religantur, quorum dentes in saxa forata accommodantur. Quum autem funis habet caput ad suculam religatum, et vectes ducentes eam versant, funis se involvendo circum suculam extenditur, et ita sublevat onera ad altitudinem et operum collocationes.

4. Trochlea in summo capite machina rudenti contineatur, et ex eo funis perducatur ad palum, et quae est in palo trochlea illigata, circa ejus orbiculum funis indatur, et referatur ad eam trochleam, quae erit ad caput machinae religata. Circum autem orbiculum ab summo trajectus funis descendat, et redeat ad suculam, quae est in ima machina, ibique religetur. Vectibus autem coacta sucula versabitur, et eriget per se machinam sine periculo: ita circa dispositis funibus, et retinaculis in palis haerentihus, ampliore modo machina collocabitur. Trochleae et ductarii funes, uti supra scriptum est, expediuntur.

5. Sin autem colossicotera amplitudinibus et ponderibus onera in operibus fuerint, non erit suculae committendum; sed quemadmodum sucula cheloniis retinetur, ita axis includatur, habens in medio tympanum amplum, quod nonnulli rotam appellant, Graeci autem ἀμφίρευσιν alii περιτρόχιον vocitant.

6. In his autem machinis trochleae non eodem sed alio modo comparantur : habent enim et in imo et in summo duplices ordines orbiculorum : ita funis ductarius traiicitur in inferioris trochleae foramen, uti aequalia duo capita sint, funis quum erit extensus; ibique secundum inferiorem trochleam resticula circumdata et connexa, utraeque partes funis continentur, ut neque in dextram, neque in sinistram partem possint prodire. Deinde capita funis referuntur in summa trochlea ab exteriore parte, et deiiciuntur circa orbiculos imos, et redeunt ad imum coniiciunturque infimae trochleae ad orbiculos ex interiore parte, et referuntur dextra ac sinistra ad caput circa orbiculos summos.

7. Trajecta autem ab exteriori parte referuntur dextra ac sinistra tympanum in axe, ibique ut haereant, colligantur. Tum autem circa tympanum involutus alter funis refertur ad ergatam, et is circumactum tynipanum et axem se involvendo, funes qui in axe religati sunt, pariter se extendunt, et ita leniter levant onera sine periculo. Quod si maius tympanum collocatum aut in medio aut in una parte extrema hahuerit sine ergata calcantes homines, expeditiores habere poterit operis effectus.

8. Est autem aliud genus machinae satis artificiosum, et ad usum celeritatis expeditum, sed in eo dare operam non possunt nisi periti. Est enim tignum, quod erigitur et distenditur retinaculis quadrifariam; sub retinaculis chelonia duo figuntur; trochlea funibus supra chelonia religatur; sub trochlea regula longa circiter pedes duos, lata digitos sex, crassa quatuor, supponitur. Trochleae ternos ordines orbiculorum in latitudinem habentes collocantur; ita tres ductarii funes in summo machinae religantur, deinde referuntur ad imam trochleam et traiiciuntur ex interiore parte per eius orbiculos summos : deinde referuntur ad superiorem trochleam, et traiiciuntur ab exteriore parte in interiorem, per orbiculos imos.

9. Quum descenderint ad imum, ex interiore parte et per secundos orbiculos traducuntur in exteriorem,

et referuntur in summum; ad orbiculos secundos traiecti, redeunt ad imum; ex imo referuntur ad caput, et traiecti per summos, redeunt ad machinam imam. In radice autem machinae collocatur tertia trochlea; eam autem Graeci ἐπάγοντα, nostri artemonem appellant. Ea trochlea religatur ad machinae radicem habens orbiculos tres, per quos traiecti funes traduntur hominibus ad ducendum. Ita tres ordines hominum ducentes, sine ergata, celeriter onus ad summum perducunt.

10. Hoc genus machinae polyspaston appellatur, quod multis orbiculorum circuitionibus, et facilitatem summam praestat et celeritatem. Una autem statutio tigni hanc habet utilitatem, quod ante quantum velit a dextra ac sinistra, ad latera declinando onus deponere potest. Harum machinationum omnium, quae supra scriptae, rationes, non modo ad has res, sed etiam ad onerandas et exonerandas naves sunt paratae, allae erectae;, aliae planee in carchesiis versatilibus collocatae. Non minus sine tignorum erectionibus in plano, etiam eadem ratione et temperatis funibus et trochleis, subductiones navium efficiuntur.

A10 Vitruvio, De architectura, lib. X, 2, 3

3. Haec autem ratio machinationis, quod per tres orbiculos circumvolvitur, trispastos appellatur. Quum vero in ima trochlea duo orbiculi in superiore tres versantur, id pentaspaston dicitur. Sin autem majoribus oneribus erunt machina comparandae, amplioribus tignorum longitudinibus et crassitudinibus erit utendum, et eadem ratione in summo fibulationibus, in imo sucularum versationibus expediundum. His explicatis antarii funes ante laxi collocentur, retinacula supra scapulas machinae longe disponantur et, si non erit ubi religentur, pali resupinati defodiantur, et circum fistucationibus solidentur, quo funes alligentur.

10. Hoc genus machinae polyspaston appellatur, quod multis orbiculorum circuitionibus, et facilitatem summam praestat et celeritatem. Una autem statutio tigni hanc habet utilitatem, quod ante quantum velit a dextra ac sinistra, ad latera declinando onus deponere potest.

A11 Vitruvio, De architectura, lib. X, 2, 11-12

11. Non est autem alienum etiam Chersiphronis ingeniosam rationem exponere. ls enim scapos columnarum ex lapidicinis quum deportare vellet Ephesum ad Dianae fanum, propter magnitudinem onerum et viarum campestrem mollitudinem, non confisus carris, ne rotae devorarentur, sic est conatus. De materia trientali scapos quatuor, duos transversarios interpositos duobus longis, quanta longitudo scapi fuerat, complectit et compegit, et ferreos cnodaces, uti subscudes in capitibus scaporum implumbavit, et armillas in materia ad cnodaces circumdandos infixit, item baculis iligneis capita religavit. Cnodaces autem in armillis inclusi liberam habuerunt versationem tantam, uti quum boves ducerent subiuncti, scapi versando in cnodacibus et armillis sine fine volverentur.

12. Quum autem scapos omnes ita vexissent, et instarent epistyliorum vecturae, filius Chersiphronis Metagenes transtulit eam rationem e scaporum vectura etiam in epistyliorum deductione. Fecit enim rotas circiter pedum duodenum, et epistyliorum capita in medias rotas, eadem ratione cum cnodacibus et armillis in capitibus, inclusit. Ita quum trientes a bubus ducerentur, in armillis inclusi cnodaces versabant rotas; epistylia vero inclusa, uti axes, in rotis, eadem ratione qua scapi, sine mora ad opus pervenerunt. Exemplar autem erit eius, quemadmodum in palaestris cylindri exaequant ambulationes. Neque hoc potuisset fieri, nisi primum propinquitas esset : non enim plus sunt ab lapidicinis ad fanum quam millia pedum octo : nec ullus est clivus, sed perpetuus campus.

A12 Plinio, Naturalis Historia lib. XVIII, 72

Messis ipsius ratio varia. Galliarum latifundis valli praegrandes, dentibus in margine insertis, duabus rotis per segetem inpelluntur, iumento in contrarium iuncto; ita dereptae in vallum cadunt spicae.

A13 Plinio, Naturalis Historia lib. XXIX, 7.14

7- Dicam de istis Graecis suo loco, M. fili, quid Athenis exquisitum habeam et quod bonum sit illorum litteras inspicere, non perdiscere. vincam nequissimum et indocile genus illorum, et hoc puta vatem dixisse: quandoque ista gens suas litteras dabit, omnia conrumpet, tum etiam magis, si medicos suos hoc mittet. iurarunt inter se barbaros necare omnes medicina, sed hoc ipsum mercede faciunt, ut fides iis sit et facile disperdant. nos quoque dictitant barbaros et spurcius nos quam alios Οπικων appellatione foedant. interdixi tibi de medicis.

A14 Plinio, Naturalis Historia, lib. XXIX, 8, 17-18

17- ...Itaque, Hercules, in hac artium sola evenit, ut cuicumque medicum se professo statim credatur, cum sit periculum in nullo mendacio maius.

18- Non tamen illud intuemur; adeo blanda est sperandi pro se cuique dulcedo. nulla praeterea lex, quae puniat inscitiam capitalem, nullum exemplum vindictae. discunt periculis nostris et experimenta per mortes agunt, medicoque tantum hominem occidisse inpunitas summa est.

A15 Renato Vegezio Flavio, Epitoma rei militaris, lib. IV, 17

Turres autem dicuntur machinamenta ad aedificiorum speciem ex trabibus tabulatisque conpacta... His plures rotae mechanica arte subduntur, quarum lapsu uolubili magnitudo tam ampla moueatur.

A16 Giulio Cesare, De bello gallico, lib. II, 30-31

30- Ac primo adventu exercitus nostri crebras ex oppido excursiones faciebant parvulisque proeliis cum nostris contendebant; postea vallo pedum XII in circuitu quindecim milium crebrisque castellis circummuniti oppido sese continebant. Ubi vineis actis aggere extructo turrim procul constitui viderunt, primum inridere ex muro atque increpitare vocibus, quod tanta machinatio a tanto spatio instituеretur: quibusnam manibus aut quibus viribus praesertim homines tantulae staturae (nam plerumque omnibus Gallis prae magnitudine corporum quorum brevitas nostra contemptui est) tanti oneris turrim in muro sese posse conlocare confiderent?

31- Ubi vero moveri et adpropinquare muris viderunt, nova atque inusitata specie commoti legatos ad Caesarem de pace miserunt, qui ad hunc modum locuti; non se existimare Romanos sine ope divina bellum gerere, qui tantae altitudinis machinationes tanta celeritate promovere possent; se suaque omnia eorum potestati permittere dixerunt. Unum petere ac deprecari: si forte pro sua clementia ac mansuetudine, quam ipsi ab aliis audirent, statuisset Atuatucos esse conservandos, ne se armis despoliaret. Sibi omnes fere finitimos esse inimicos ac suae virtuti invidere; a quibus se defendere traditis armis non possent. Sibi praestare, si in eum casum deducerentur, quamvis fortunam a populo Romano pati quam ab his per cruciatum interfici inter quos dominari consuessent.

A17 Ammiano Marcellino, lib. 23.4

4.Scorpionis autem, quem appellant nunc Onagrum, huius modi forma est. dolantur axes duo quernei vel ilicei, curvanturque mediocriter, ut prominere videantur in gibbas, hique in modum serratoriae machinae conectuntur ex utroque latere patentius perforati, quos inter per cavernas funes conligantur robusti, conpagem, ne dissiliat, continentes.

5. ab hac medietate restium ligneus stilus exsurgens obliquus et in modum iugalis temonis erectus ita nervorum nodulis inplicatur, ut altius tolli possit et inclinari, summitatique eius unci ferrei copulantur, e quibus pendet stuppea vel ferrea funda, cui ligno fulmentum prosternitur ingens, cilicium paleis confertum minutis, validis nexibus inligatum et locatum super congestos cespites vel latericios aggeres. nam muro saxeo huius modi moles inposita disiectat quidquid invenerit subter concussione violenta, non pondere.

6. cum igitur ad concertationem ventum fuerit, lapide rotundo fundae inposito, quaterni altrinsecus iuvenes repagula, quibus incorporati sunt funes, expli- cantes, retrorsus stilum paene supinum inclinant: itaque demum sublimis adstans magister claustrum, quod totius operis continet vincula, reserat malleo forti perculsum, unde absolutus ictu volucri stilus et mollitudine offensus cilicii saxum contorquet, quicquid incurrerit conlisurum.

7. et tormentum quidem appellatur ex eo quod omnis explicatio torquetur, scorpio autem quoniam aculeum desuper habet erectum, cui etiam onagri vocabulum indidit aetas novella ea re, quod asini feri eum venatibus agitantur, ita eminus lapides post terga calcitrando emittunt, ut perforent pectora sequentium aut perfractis ossibus capita ipsa displodant.

A18 Vitruvio, De architectura, lib. X, 4, 1-4

1- ...Nunc de organis, quae ad hauriendam aquam inventa sunt, quemadmodum variis generibus conparentur, exponam. Et primum dicam de tympano. Id autem non alte tollit aquam, sed exhaurit expeditissime multitudinem magnam. Ad tornum aut circinum fabricatus <axis>, capitibus lamna ferratis, habens in medio circa de tympanum ex tabulis inter se coagmentatis, conlocatur in stipitibus habentibus in se sub capita axis ferreas lamminas. In eius tympani cavo interponuntur octo tabulae transversae tangentes axem et extremam tympani circuitionem, quae dividunt aequalia in tympano spatia.

2- Circa frontem eius figuntur tabulae, relictis semipedalibus aperturis ad aquam intra concipiendam Item secundum axem columbaria fiunt excavata in singulis spatiis ex una parte. Id autem cum est navali ratione picatum, hominibus calcantibus versatur et hauriendo per aperturas, quae sunt in frontibus tym-

pani, reddit per columbaria secundum axem supposito labro ligneo habente una secum coniunctum canalem. Ita hortis ad inrigandum vel ad salinas ad temperandum praebetur aquae multitudo.

3- Cum autem altius extollendum erit, eadem ratio communicabitur. Sic rota fiet circum axem eadem magnitudine, ut ad altitudinem, quae opus fuerit, convenire possit. Circum extremum latus rotae figentur modioli quadrati pice et cera solidati. Ita cum rota a calcantibus versabitur, modioli pleni ad summum elati rursus ad imum revertentes infundent in castellum ipsi per se quod extulerint.

4- Sin autem magis altis locis erit praebendum, in eiusdem rotae axe involuta duplex ferrea catena demissaque ad imum libramentum conlocabitur, habens situlos pendentes aereos congiales. Ita versatio rotae catenam in axem involvendo efferet situlos in summum, qui <cum> super axem pervehuntur, cogentur Ìnverti et infundere in castellum aquae quod extulerint.

A19 Vitruvio, De architectura, lib. X,6, 1-3

1. Est autem etiam cocleae ratio, quae magnam vim haurit aquae, sed non tam alte tollit quam rota. Eius autem ratio sic expeditur. Tignum sumitur, cuius tigni quanta paratur pedum longitudo, tanta digitorum expeditur crassitudo. Id ad circinum rotundatur. In capitibus circino dividentur circumitiones eorum tetrantibus et octantibus in partes octo, eaeque lineae ita conlocentur, ut plano posito tigno utriusque capitis ad libellam lineae inter se respondeant, et quam magna pars sit octava circinationis tigni, tam magna spatia decidantur in longitudinem. Item tigno plano conlocato lineae ab capite ad alterum caput perducantur ad libellam convenientes. Sic et in rotundatione et in longitudine aequalia spatia fient. Ita quo loci describuntur lineae, quae sunt in longitudinem spectantes, facient decusationes et in decusationibus finita puncta.

2. His ita emendate descriptis sumitur salignea tenuis aut de vitice secta regula, quae uncta liquida pice figitur in primo decusis puncto. Deinde traicitur oblique ad insequentis longitudinis et circumitionis decusis, item ex ordine progrediens singula puncta praetereundo et circum involvendo conlocatur in singulis decusationibus, et ita pervenit et figitur ad eam lineam recedens a primo in octavum punctum, in qua prima pars est eius fixa. Eo modo quantum progreditur oblique spatium et per octo puncta, tantundem et longitudine procedit ad octavum punctum. Eadem ratione per omne spatium longitudinis et rotunditatis singulis decusationibus oblique fixae regulae per octo crassitudinis divisiones involutos faciunt canales et iustam cocleae naturalemque imitationem.

3. Ita per id vestigium aliae super alias figuntur unctae pice liquida, et exaggerantur ad id, uti longitudinis octava pars fiat summa crassitudo. Supra eas circumdantur et figuntur tabulae, quae pertegant eam involutionem. Tunc eae tabulae pice saturantur et lamminis ferreis conligantur, ut ab aquae vi ne dissolvantur. Capita tigni ferrea. Dextra autem ac sinistra cocleam tigna conlocantur in capitibus utraque parte habentia transversaria confixa. In his foramina ferrea sunt inclusa inque ea inducuntur styli, et ita cocleae hominibus calcantibus faciunt versationes.

A20 Vitruvio, De architectura, lib. X, 7, 1-3

1. Insequitur nunc de Ctesibica machina, quae in altitudinem aquam educit, monstrare. Ea fit ex aere. Cuius in radicibus modioli fiunt gemelli paulum distantes, habentes fistulas furcillae figura similiter cohaerentes, in medium catinum concurrentes. In quo catino fiunt asses in superioribus naribus fistularum coagmentatione subtili conlocati, qui praeobturantes foramina narium non patiuntur <redire>, quod spiritu in catinum est expressum.

2. Supra catinum paenula ut infundibulum inversum est attemperata et per fibulam cum catino cuneo traiecto continetur, ne vis inflationis aquae eam cogat elevari. Insuper fistula, quae tuba dicitur, coagmentata in altitudine fit erecta. Modioli autem habent infra nares inferiores fistularum asses interpositos supra foramina eorum, quae sunt in fundis.

3. Ita de supernis in modiolis emboli masculi torno politi et oleo subacti conclusique regulis et vectibus cum molientur qui erit aer ibi cum aqua, assibus obturantibus foramina cogent et trudent inflando pressionibus per fistularum nares aquam in catinum, e quo recipiens paenula spiritu exprimit per fistulam in altitudinem, et ita ex inferiore loco castello conlocato ad saliendum aqua subministratur.

A21 Vitruvio, De architectura, lib. X, 8, 1-5

1. De hydraulis autem, quas habeant ratiocinationes, quam brevissime proximeque attingere potero et scriptura consequi, non praetermittam. De materia compacta basi, ara in ea ex aere fabricata conlocatur. Supra basim eriguntur regulae dextra ac sinistra scalari forma compactae, quibus includuntur aerei modioli, fundulis ambulatilibus ex torno subtiliter subactis habentibus

fixos in medio ferreos ancones et verticulis cum vectibus coniunctos, pellibusque lanatis involutis. Item in summa planitia foramina circiter digitorum ternûm. Quibus foraminibus proxime in verticulis conlocati aerei delphini pendentia habent catenis cymbala ex ore infra foramina modiolorum calata.

2. Intra aram, quo loci aqua sustinetur, inest pnigeus uti infundibulum inversum, quem subter taxilli alti circiter digitorum ternûm suppositi librant spatium imum [una] inter labra pnigeos et arae fundum. Supra autem cerviculam eius coagmentata arcula sustinet caput machinae, qui graece κανων μουσικος appellatur. In cuius longitudine canales, si tetrachordos est, fiunt quattuor, si hexachordos, sex, si octochordos, octo.

3. Singulis autem canalibus singula epitonia sunt inclusa, manubriis ferreis conligata. Quae manubria, cum torquentur, ex arca patefaciunt nares in canales. Ex canalibus autem canon habet ordinata in transverso foramina respondentia naribus, quae sunt in tabula summa, quae tabula graece πιναξ dicitur. Inter tabulam et canona regulae sunt interpositae ad eundem modum foratae et oleo subactae, ut faciliter inpellantur et rursus introrsus reducantur, quae obturant ea foramina plinthidesque appellantur. Quarum itus et reditus alias obturat alias aperit terebrationes.

4. Haec regulae habent ferrea choragia fixa et iuncta cum pinnis, quarum pinnarum tactus motiones efficit regularum continenter. Supra tabulam foramina, qua ex canalibus habent egressum spiritus, sunt anuli adglutinati, quibus lingulae omnium includuntur organorum. E modiolis autem fistulae sunt continentes coniunctae pnigeos cervicibus pertinentesque ad nares, quae sunt in arcula. In quibus asses sunt ex torno subacti et ibi conlocati, qui, cum recepit arcula animam, spiritum non patientur obturantes foramina rursus redire.

5. Ita cum vectes extolluntur, ancones deducunt fundos modiolorum ad imum delphinique, qui sunt in verticulis inclusi, calantes in eos cymbala, aere implent spatia modiolorum, atque ancones extollentes fundos intra modiolos vehementi pulsus crebritate et obturantes foramina cymbalis superiora, aera, qui est ibi inclusus, pressionibus coactum in fistulas cogunt, per quas in pnigea concurrit et per eius cervices in arcam. Motione vero vectium vehementiore spiritus frequens compressus epitoniorum aperturis influit et replet animae canales.

6. Itaque cum pinnae manibus tactae propellunt et reducunt continenter regulas alternis obturando foramina alternis aperiundo, e musicis artibus multiplicibus modulorum varietatibus sonantes excitant voces.

A22 Vitruvio, De architectura, lib. VIII, 6, 13

13. Hoc autem quibus rationibus caveatur, sic erit faciendum. Lucerna accensa demittatur; quae si permanserit ardens, sine periculo descendetur. Sin autem eripietur lumen a vi vaporis, tunc secundum puteum dextra ac sinistra defodiantur aestuaria; ita quemadmodum per nares spiritus ex aestu<ariis> dissipabuntur. Cum haec sic explicata fuerint et ad aquam erit perventum, tunc saepiatur as<sa> structura, ne obturentur venae.

A23 Vitruvio, De architectura, lib. XVIII, 7, 1-2

1. Eaeque structurae confornicentur, ut minime sol aquam tangat. Cumque venerit ad moenia, efficiatur castellum et castello coniunctum ad recipiendam aquam triplex inmissarium, conlocenturque in castello tres fistulae aequaliter divisae intra receptacula coniuncta, uti, cum abundaverit ab extremis, in medium receptaculum redundet.

2. Ita in medio ponentur fistulae in omnes lacus et salientes, ex altero in balneas vectigal quotannis populo praestent, ex quibus tertio in domus privatas, ne desit in publico, non enim poterint avertere, cum habuerint a capitibus proprias ductiones. Haec autem quare divisa constituerim, hae sunt causae, uti qui privatim ducent in domos vectigalibus tueantur per publicanos aquarum ductus.

A24 Frontino, De aquis, lib. II, 105

Qui aquam in usus provatos deducere volet, impetrare eam debet et a principe epistulam ad curatorem adferre; curator deinde beneficio Caesaris praestare maturitatem et procuratorem eiusdeem officii libertum Caesaris protinus scribere. Procuratorem autem primus Ti. Claudius videtur admovisse, postquam Anionem Novum et Claudiam induxit. Quid contineat epistula, vilicis quoque fieri notum debet, ne quando neglegentiam aut fraudem suam ignorantiae colore defendant. Procurator calicem eius moduli, qui fuerint impetratus, adhibitis libratoribus signari cogitet, interdum maioris luminis, interdum minoris prop gratia personarum calicem probare. Sed nec statim ab hoc liberum subiciendi qualemcumque plumbeam fistulam permitattur arbitrium, verum eiusdem luminis quo calix signatus est per pedes quinquaginta, sicut senatus consulto quod subiectum est cavetur.

A25 Frontino, De aquis, lib. I, 26, 63

26. Omnis autem modulus colligitur aut diametro aut perimetro aut areae mensura, ex quibus et capacitas apparet. Differentiam unciae, digiti quadrati et digiti rotundi, et ipsius quinariae ut facilius dinoscamus, utendum est substantia quinariae, qui modulus et certissimus et maxime receptus est. Unciae ergo modulus habet diametri digitum unum et trientem digiti; capit plus, quam quinaria, quinariae octava, hoc est sescuncia quinariae et scripulis tribus et besse scripuli. Digitus quadratus in rotundum redactus habet diametri digitum unum et digiti sescunciam sextulam; capit quinariae dextantem. Digitus rotundus habet diametri digitum unum; capit quinariae septuncem semunciam sextulam...

39. Fistula quinaria: diametri...
40. Fistula senaria: diametri...
41. Fistula septenaria: diametri...
42. Fistula octonaria: diametri...
43. Fistula denaria: diametri...
44. Fistula duodenaria: diametri...
45. Fistula quinum denum: diametri...
46. Fistula vicenaria: diametri...
47. Fistula vicenum quinum: diametri...
48. Fistula tricenaria: diametri...
49. Fistula tricenum quinum: diametri...
50. Fistula quadragenaria: diametri...
51. Fistula quadragenum quinum: diametri...
52. Fistula quinquagenaria: diametri...
53. Fistula quinquagenum quinum: diametri...
54. Fistula sexagenaria: diametri...
55. Fistula sexagenum quinum: diametri...
56. Fistula septuagenaria: diametri...
57. Fistula septuagenum quinum: diametri...
58. Fistula octogenaria: diametri...
60. Fistula nonagenaria: diametri...
61. Fistula nonagenum quinum: diametri...
62. Fistula centenaria: diametri...
63. Fistula centenum vicenum: diametri...

A26 Vitruvio, De architectura, lib. IX, 9, 8-15

8. Fiunt etiam alio genere horologia hiberna, quae anaphorica dicuntur perficiunturque rationibus his. Horae disponuntur ex virgulis aeneis ex analemmatos descriptione ab centro dispositae in fronte; in ea circuli sunt circumdati menstrua spatia finientes. Post has virgulas tympanum, in quo descriptus et depictus est mundus signiferque circulus [descriptioque ex XII caelestium signorum fit figurata], cuius ex centro deformatio, unum maius, alterum minus. Posteriori autem parte tympano medio axis versatilis est inclusus inque eo axi aenea mollis catena est involuta, ex qua pendet ex una parte phellos (sive tympanum), qui ab aqua sublevatur, altera aequo pondere phelli sacoma saburrale.

9. Ita quantum ab aqua phellos sublevatur, tantum saburrae pondus infra deducens versat axem, axis autem tympanum. Cuius tympani versatio alias efficit, uti maior pars circuli signiferi, alias minor in versationibus suis temporibus designet horarum proprietates. Namque in singulis signis sui cuiusque mensis dierum numeri cava sunt perfecta, cuius bulla, quae solis imaginem horologiis tenere videtur, significat horarum spatia. Ea translata ex terebratione in terebrationem mensis vertentis perficit cursum suum.

10. Itaque quemadmodum sol per siderum spatia vadens dilatat contrahitque dies et horas, sic bulla in horologiis ingrediens per puncta contra centri tympani versationem, cotidie cum transfertur aliis temporibus per latiora, aliis per angustiora spatia, men- struis finitionibus imagines efficit horarum et dierum. De administratione autem aquae, quemadmodum se temperet ad rationem, sic erit faciendum.

11. Post frontem horologii intra conlocetur castellum in idque per fistulam saliat aqua et in imo habeat cavum. Ad id autem adfixum sit ex aere tympanum habens foramen, per quod ex castello in id aqua influat. In eo autem minus tympanum includatur cardinibus ex torno masculo et femina inter se coartatis, ita uti minus tympanum quemadmodum epitonium in maiore circumagendo arte leniterque versetur.

12. Maioris autem tympani labrum aequis intervallis CCCLXV puncta habeat signata, minor vero orbiculus in extrema circinatione fixam habeat lingulam, cuius cacumen dirigat ad punctorum regiones, inque eo orbiculo temperatum sit foramen, quia in tympanum aqua influit per id et servat administrationem. Cum autem in maioris tympani labro fuerint signorum caelestium deformationes, id autem sit inmotum et in summo habeat deformatum cancri signum, ad perpendiculum eius in imo capricorni, ad dextram spectantis librae, ad sinistram arietis signum, ceteraque inter eorum spatia designata sint, uti in caelo videntur.

13. Igitur cum sol fuerit in capricorni, orbiculi lingula in maioris tympani parte ex capricorni cotidie singula puncta tangens, ad perpendiculum habens aquae currentis vehemens pondus, celeriter per or-

biculi foramen id extrudit ad vasum excipiens eam. Cum brevi spatio impletur, corripit et contrahit dierum [minora] spatia et horarum. Cum autem cotidiana versatione minoris tympani lingula ingrediatur in aquarii puncta, discedens foramen a perpendiculo et aquae vehementi cursu cogitur tardius emittere salientem. Ita quo minus celeri cursu vas excipit aquam, dilatat horarum spatia.

14. Aquarii vero pisciumque punctis uti gradibus scandens orbiculi foramen in ariete tangendo octavam partem aqua temperate salienti praestat aequinoctiales horas. Ab ariete per tauri et geminorum spatia ad summa cancri puncta partis octavae foramen se tympani versationibus peragens et in altitudinem eo rediens viribus extenuatur, et ita tardius fluendo dilatat morando spatia et efficit horas in cancri signo solstitiales. A cancro cum proclinat et peragit per leonem et virginem ad librae partis octavae puncta revertendo et gradatim corripiendo spatia contrahit horas, et ita perveniens ad puncta librae aequinoctiales rursus reddit horas.

15. Per scorpionis vero spatia et sagittarii proclivius deprimens se foramen rediensque circumactione ad capricorni partem VIII, restituit celeritate salientis brumales horarum brevitates.

Quae sunt in horologiorum descriptionibus rationes et apparatus, ut sint ad usum expeditiores, quam apertissime potui, perscripsi. Restat nunc de machinationibus et de earum principiis ratiocinari. Itaque de his, ut corpus emendatum architecturae perficiatur, insequenti volumine incipiam scribere.

A27 Vitruvio, De architectura, lib. X, 5, 1-2

1-Fiunt etiam in fluminibus rotae eisdem rationibus, quibus supra scriptum est. Circa earum frontes adfiguntur pinnae, quae, cum percutiuntur ab impetu fluminis, cogunt progredientes versari rotam, et ita modiolis haurientes et in summum referentes sine operarum calcatura ipsius fluminis inpulsu versatae praestant, quod opus est ad usum.

2-Eadem ratione etiam versantur hydraletae, in quibus eadem sunt omnia, praeterquam quod in uno capite axis tympanum dentatum est inclusum. Id autem ad perpendiculum conlocatum in cultrum versatur cum rota pariter. Secundum id tympanum maius item dentatum planum est conlocatum, quo continetur. [...] Ita dentes tympani eius, quod est in axe inclusum, inpellendo dentes tympani plani cogunt fieri molarum circinationem. In qua machina inpendens infundibulum subministrat molis frumentum et eadem versatione subigitur farina.

A28 Ausonio Stazio, Mosella

Praecipiti torquens cerealia saxa rotatu
Stridentesque trahens per levia marmora serras
Audit perpetuos ripa ex utraque tumultus.

A29 Procopio da Cesarea, De bello Gotico, lib. I, 19

Et quoniam, aquaeductibus, uti dixi, incisis, aqua molas non versabat amplius, neque id iumentorum opera fieri poterat, re cibaria penitus, ut fit in obsidione, defectis Romanis, qui vix habebant quo equos sibi necessarios sustentarent, artem hanc Belisarius excogitavit. Pro ponte, quem moenibus comissum dicebam modo, aptatis funibus, et ab utraque fliminis ripa validissime tentis, binos lembos colligavit, bipedali inter utrumque relicto spatio, qua maiori impetu e pontis fornice aqua decurrebat. Tum duabus molis utrique lembo impositis, in medio machinam, qua molae volvi solent, suspendit. Alios continenter lenunculos ad eorum rationem, qui pone erant, connexit, ac machinas eodem modo immisit: quae omnes ordine, profluentis aquae vi, circumactae, appositas sibi molas ciebant, et quantum urbi opus erat, molebant.

A30 Anonimo, De rebus bellicis, Expositio liburnae

1- Liburnam navalibus idoneam bellis, quam pro magnitudine sui virorum exerceri manibus quodammodo imbecillitas humana prohibebat, quocumque utilitas vocet ad facilitatem cursus ingenii ope subnixa animalium virtus impellit.

2- In cuius alveo vel capacitate bini boves machinis adiuncti adhaerentes rotas navis lateribus volvunt, quarum supra ambitum vel rotunditatem exstantes radii, currentibus iisdem rotis, in modum remorum aquam conatibus elidentes miro quodam artis effectu operantur, impetu parturiente discursum.

3- Haec eadem tamen liburna pro mole sui proque machinis in semet operantibus tanto virium fremitu pugnam capescit, ut omnes adversarias liburnas comminus venientes facili attritu comminuat.

A31 Plinio, Naturalis Historia, lib. XXXIII, 21, 70-71

Tertia ratio opera vicerit Gigantum; cuniculis per magna spatia actis cavantur montes lucernarum ad lumina; eadem mensura vigiliarum est, multisque

mensibus non cernitur dies. arrugias id genus vocant. siduntque rimae subito et opprimunt operatos, ut iam minus temerarium videatur eÂ profundo maris petere margaritas atque purpuras; tanto nocentiores fecimus terras! relinquuntur itaque fornices crebri montibus sustinendis; occursant in utroque genere silices; hos igne et aceto rumpunt, saepius vero, quoniam id cuniculos vapore et fumo strangulat, caedunt fractariis libras ferri habentibus egeruntque umeris noctibus ac diebus per tenebras proximis tradentes; lucem novissimi cernunt; si longior videtur silex, latus sequitur fossor ambitque. et tamen in silice facilior existimatur opera; est namque terra ex quodam argillae genere glarea mixta 'gangadiam' vocant prope inexpugnabilis. Cuneis eam ferreis adgrediuntur et isdem malleis nihilque durius putant, nisi quod inter omnia auri fames durissima est. peracto opere cervices fornicum ab ultimo caedunt. dat signum ruina, eamque solus intellegit in cacumine eius montis vigil; hic voce, nutu evocari iubet operas pariterque ipse devolat. mons fractus cadit ab sese longe fragore qui concipi humana mente non possit, aeque et flatu incredibili. spectant victores ruinam naturae. nec tamen adhuc aurum est nec sciere esse, cum foderent, tantaque ad pericula et inpendia satis causae fuit sperare quod cuperent.

A32 Plinio, Naturalis Historia, lib. XXXIII, 21, 74-75

74- Alius par labor ac vel maioris inpendii: flumina ad lavandam hanc ruinam iugis montium obiter duxere aÂ centesimo plerumque lapide; corrugos vocant, aÂ conrivatione credo. mille et hic labores: praeceps esse libramentum oportet, ut ruat verius quam fluat; itaque altissimis partibus ducitur. convalles et intervalla substructis canalibus iunguntur. alibi rupes inviae caeduntur sedemque trabibus cavatis praebere coguntur.

75- Qui caedit, funibus pendet, ut procul intuenti species ne ferarum quidem, sed alitum fiat. pendentes maiore ex parte librant et lineas itineri praeducunt, quaque insistentis vestigiis hominis locus non est, amnes trahuntur ab homine. vitium lavandi est, si fluens amnis lutum inportet; id genus terrae urium vocant. ergo per silices calculosve ducunt et urium evitant. ad capita deiectus in superciliis montium piscinae cavantur ducenos pedes in quasque partes et in altitudinem denos. emissaria in iis quina pedum quadratorum ternum fere relinquuntur, ut repleto stagno excussis opturamentis erumpat torrens tanta vi, ut saxa provolvat.

A33 Flavio Renato Vegezio, De re militari, lib. V, 9

Post ortum Pleiadum, a die (ante) VI Kal. Iunas usque ad Arcturi ortum, id est ad diem octavum decimum Kalendas Octobres, secura navigatio est: nam aestatis beneficio ventorum acerbitas mitior est. Post hoc tempus usque ad diem tertium (ante) Idus Novembres incerta navigatio est et discrimini propior propter Arcturum, vehementissimus sidus. A Novembri autem mense crebris tempestatibus navigatio periculosa est. Ex die igitur tertio (ante) Idus Novembres usque ad diem sextum (ante) Idus Martias lux minima prolixa, nubium densitas, aeris obscuritas, ventorum vis, imbres vel nives efficiunt ut non solum nautae sed etiam viatores itinera et per mare et per terram suscipere non possint. Postea usque ad Idus Maias naves periculose maria temptant ideoque maiorem adhibere cautelam debent.

A34 Vitruvio, De architectura, lib. I, 6, 4

Nonnullis placuit esse ventos quatuor: ab oriente aequinoctiali solanum, a meridie austrum, ab occidente aequinoctiali favonium, a septentrionali septentrionem. Sed qui diligentius perquisiverunt, tradiderunt eos esse octo, maxime quidem Andronicus Cyrrhestes, qui etiam exemplum collocavit Athenis turrim marmoream octagonon, et in singulis lateribus octagoni singulorum ventorum imagines exsculptas contra suos quosque flatus designavit, supraque eam turrim metam marmoream perfecit, et insuper Tritonem aereum collocavit, dextra manu virgam porrigentem, et ita est machinatus, uti vento circumageretur, et semper contra flatum consisteret, supraque imaginem flantis venti indicem virgam teneret.

A35 Varrone, De agricoltura, lib. III, 5, 17

Intrinsecus sub tholo stella lucifer interdiu, noctu hesperus, ita circumeunt ad infimum hemisphaerium ac moventur, ut indicent, quot sint horae. In eodem hemisphaerio medio circum cardinem est orbis ventorum octo, ut Athenis in horologio, quod fecit Cyrrestes; ibique eminens radius a cardine ad orbem ita movetur, ut eum tangat ventum, qui flet, ut intus scire possis.

A36 Plinio, Naturalis Historia, lib. XXXV, 40, 139

Androbius pinxit Scyllum ancoras praecidentem Persicae classis, Artemon.

A37 Plinio, Naturalis Historia, lib. II, 234, 7

...omne oleo tranquillari, et ob id urinatores ore spargere, quoniam mitiget naturam asperam lucem deportet;

A38 Anonimo, De rebus bellicis, Expositio ascogefyri

16. 1. Ne interdum necessario itineri exercitus fluuiorum, quod plerumque euenit, occursus impediat, remedium ad hanc rem et compendio facile et usu praecipuum repperit ingeniosa necessitas, quod tali ratione componitur. 2. uitulinis pellibus arabica arte mollitis, est enim apud eos praecipua confectionis cura propter aquam de puteis follibus hauriendam, his igitur ut dictum est, diligenter sutis, fiunt utres in magnitudinem trium et semis pedum, ita ut cum idem utres spiritu inflati tumuerint non extollant uterum sed aequalitate quidam plenitudo ipsa utrium spatia plana perficiat, ex quorum lateribus loris subter adnexis inuicem colligantur; desuper autem una parte circulis exstantibus ex altera immittuntur uncini: et ita in formam pontis adsociata, partibus explicatur integritas. 3. sed hoc idem opus obliquo fluuio propter impetum meatus facilius usque ad alteram explicabitur ripam; quod fixis in utraque ripa ferreis palis, et funibus ualidis in medio quidem sub ipsis utribus propter incedentium sustinendum pondus, in marginibus autem firmitatis gratia desuper extensis, transeundi per fluuium nouo quodam et peregrino itineris apparatu intra breue temporis spatium praebebit liberam facultatem. 4. admonendi praeterea sumus quod super utrium compaginationem cilicia sunt incedentium substernenda uestigiis ne lubrica pellium confectio insistendi deneget firmitatem. 5. in utraque tamen ripa erunt manuballistae dispositae ne hostilis manus pontem operantibus impedimento consistat.

A39 Plinio, Naturalis Historia, lib. II, 73, 181

Ideo nec nox diesque, quamvis eadem, toto orbe simul est, oppositu globi noctem aut ambitu diem adferente. multis hoc cognitum experimentis, in Africa Hispaniaque turrium Hannibalis, in Asia vero propter piraticos terrores simili specularum praesidio excitato, in quis praenuntios ignes sexta hora diei accensos saepe conpertum est tertia noctis a tergo ultimis visos. eiusdem Alexandri cursor Philonides ex Sicyone Elin mille et ducenta stadia novem diei confecit horis indeque, quamvis declivi itinere, tertia noctis hora remensus est saepius. causa, quod eunti cum sole iter erat, eundem remeans obvium contrario praetervertebat occursu. qua de causa ad occasum navigantes, quamvis brevissimo die, vincunt spatia nocturnae navigationis, ut solem ipsum comitantes.

A40 Flavio Renato Vegezio, De re militari, lib. III, 5

Aliquanti in castellorum, aut urbium turribus appendunt trabes: quibus aliquando erectis, aliquando depositis indicant quae gerentur.

A41 Caio Svetonio Tranquillo, De vita caesarum, lib. III, 65

Aptatis etiam navibus ad quascumque legiones meditabatur fugam, speculabundus ex altissima rupe identidem signa, quae, ne nuntii morarentur, tolli procul, ut quidque factum foret, mandaverat. Verum et oppressa coniuratione Seiani nihilo securior aut constantior per novem proximos menses non egressus est villa, quae videre Ionis.

A42 Plinio, Naturalis Historia, lib. X, 53, 110

...quin et internuntiae in magnis rebus fuere, epistulas adnexas earum pedibus obsidione Mutinensi in castra consulum Decumo Bruto mittente. quid vallum et vigil obsidio atque etiam retia in amne praetenta profuere Antonio, per caelum eunte nuntio? et harum amore insaniunt multi. super tecta exaedificant turres iis nobilitatemque singularum et origines narrant, vetere iam exemplo.

A43 Plinio, il giovane, Epistole, lib. II, XVII

Villa usibus capax, non sumptuosa tutela. Cujus in prima parte atrium frugi, nec tamen sordidum: deinde porticus in D litterae similitudinem circumactae; quibus parvula, sed festiva, area includitur. Egregium adversum tempestates receptaculum; nam specularis, a c multo magis imminentibus tectis muniuntur.

A44 Plinio, Naturalis Historia, lib. XIX, 23, 64

Cartilaginum generis extraque terram est cucumis, mira voluptate Tiberio principi expetitus. nullo quippe non die contigit ei, pensiles eorum hortos promoventibus in solem rotis olitoribus rursusque hibernis diebus intra specularium munimenta revocantibus.

A45 Marziale, Epigrammi XLI

Quid ergo? Verna hoc quod transtiberinus ambulator, qui pallentia sulphurata fractis permutat vitreis...

A46 Plinio, Naturalis Historia, lib. XXXVII, 28

...invento apud medicos, quae sint urenda corporum, non aliter utilius uri putari quam cristallina pila adversis opposita solis radiis.

A47 Plinio, Naturalis Historia, lib. XXXVI, 83

83 Magnificatur et alia turris a rege facta in insula Pharo portum optinente Alexandriae, quam constitisse DCCC talentis tradunt, magno animo, ne quid omittamus, Ptolemaei regis, quo in ea permiserit Sostrati Cnidi architecti structura ipsa nomen inscribi. usus eius nocturno navium cursu ignes ostendere ad praenuntianda vada portusque introitum, quales iam compluribus locis flagrant, sicut Ostiae ac Ravennae. periculum in continuatione ignium, ne sidus existimeretur, quoniam e longinquo similis flammarum aspectus est. hic idem architectus primus omnium pensilem ambulationem Cnidi fecisse traduntur.

A48 Vitruvio, De architectura, lib. V, 10

1. Primum eligendus locus est quam calidissimus, id est aversus ab septentrione et aquilone. Ipsa autem caldaria tepidariaque lumen habeant ab occidente hiberno, si autem natura loci inpedierit, utique a meridie, quod maxime tempus lavandi a meridiano ad vesperum est constitutum. Et item est animadvertendum, uti caldaria muliebria et virilia coniuncta et in isdem regionibus sint conlocata; sic enim efficietur, ut vasaria et hypocausis communis sit eorum utrisque. Aenea supra hypocausim tria sunt componenda, unum caldarium, alterum tepidarium, tertium frigidarium, et ita conlocanda, uti, ex tepidario in caldarium quantum aquae caldae exierit, influat de frigidario in tepidarium ad eundem modum, testudinesque alveolorum ex communi hypocausi calfaciantur.

2. Suspensurae caldariorum ita sunt faciendae, ut primum sesquipedalibus tegulis solum sternatur inclinatum ad hypocausim, uti pila, cum mittatur, non possit intro resistere, sed rursus redeat ad praefurnium ipsa per se; ita flamma facilius pervagabitur sub suspensione. Supraque laterculis besalibus pilae struantur ita dispositae, uti bipedales tegulae possint supra esse conlocatae; altitudinem autem pilae habeant pedes duo. Eaeque struantur argilla cum capillo subacta, supraque conlocentur tegulae bipedales, quae sustineant pavimentum.

3. Concamarationes vero si ex structura factae fuerint, erunt utiliores; sin autem contignationes fuerint, figlinum opus subiciatur. Sed hoc ita erit faciendum. Regulae ferreae aut arcus fiant, eaeque uncinis ferreis ad contignationem suspendantur quam creberrimis; eaeque regulae sive arcus ita disponantur, uti tegulae sine marginibus sedere in duabus invehique possint, et ita totae concamarationes in ferro nitentes sint perfectae. Earumque camararum superiora coagmenta ex argilla cum capillo subacta liniantur; inferior autem pars, quae ad pavimentum spectat, primum testa cum calce trullizetur, deinde opere albario sive tectorio poliatur. Eaeque camarae in caldariis si duplices factae fuerint, meliorem habebunt usum; non enim a vapore umor corrumpere poterit materiem contignationis, sed inter duas camaras vagabitur.

4. Magnitudines autem balneorum videntur fieri pro copia hominum [...] sint ita compositae. Quanta longitudo fuerit tertia dempta, latitudo sit, praeter scholam labri et alvei. Labrum utique sub lumine faciundum videtur, ne stantes circum suis umbris obscurent lucem. Scholas autem labrorum ita fieri oportet spatiosas, uti, cum priores occupaverint loca circum, expectantes reliqui recte stare possint. Alvei autem latitudo inter parietem et pluteum ne minus sit pedes senos, ut gradus inferior inde auferat et pulvinus duos pedes.

5. Laconicum sudationesque sunt coniungendae tepidario; eaeque quam latae fuerint, tantam altitudinem habeant ad imam curvaturam hemisphaerii. Mediumque lumen in hemisphaerio relinquatur, ex eoque clipeum aeneum catenis pendeat, per cuius reductiones et demissiones perficietur sudationis temperatura. Ipsumque ad circinum fieri oportere videtur, ut aequaliter a medio flammae vaporisque vis per curvaturae rotundationes pervagetur.

A49 M.T. Varrone, De re rustica, lib. III, 5, 17

Subter columnarum stylobaten est lapis a falere pedem et dodrantem alta; ipsum falere ad duo pedes altum a stagno, latum ad quinque, ut in culcitas et columellas convivae pedibus circumire possint. Infimo intra falere est stagnum cum margine pedali et insula in medio parva. Circum falere et navalia sunt excavata anatium stabula. In insula est columella, in qua intus

axis, qui pro mensa sustinet rotam radiatam, ita ut ad extremum, ubi orbile solet esse, arcuata tabula cavata sit ut tympanum in latitudinem duo pedes et semipedem, in altitudinem palmum. Haec ab uno puero, qui ministrat, ita vertitur, ut omnia una ponantur et ad bibendum et ad edendum et admoveantur ad omnes convivas. Ex suggesto faleris, ubi solent esse peripetasmata, prodeunt anates in stagnum ac nant, e quo rivus pervenit in duas, quas dixi, piscinas, ac pisciculi ultro ac citro commetant, cum et aqua calida et frigida ex orbi ligneo mensaque, quam dixi in primis radiis esse, epitoniis versis ad unum quemque factum sit ut fluat convivam.

A50 Plinio, Naturalis Historia, lib. II, 37

Existunt stellae et in mari terrisque. vidi nocturnis militum vigiliis inhaerere pilis pro vallo fulgorem effigie ea; et antennis navigantium aliisque navium partibus ceu vocali quodam sono insistunt, ut volucres sedem ex sede mutantes, graves, cum solitariae venere, mergentesque navigia et, si in carinae ima deciderint, exurentes, geminae autem salutares et prosperi cursus nuntiae, quarum adventu fugari diram illam ac minacem appellatamque Helenam ferunt et ob id Polluci ac Castori id numen adsignant eosque in mari invocant. hominum quoque capita vespertinis magno praesagio circumfulgent. omnia incerta ratione et in naturae maiestate abdita.

A51 Scribonio Largo, Compositiones

11. Capitis dolorem quamvis veterem et intolerabilem protinus tollit et in perpetuum remediat torpedo nigra viva inposita eo loco, qui in dolore est, donec desinat dolor et obstupescat ea pars.

Quod cum primum senserit, removeatur remedium, ne sensus auferatur eius partis. Plures autem parandae sunt eius generis torpedines, quia nonnumquam vix ad duas tresve respondet curatio, id est torpor, quod signum est remediationis.

99. Sanat ergo morbo comitiali correptos, quos ‘epileptixoùs’ Graeci vocant, furiosos quos ‘mainoménous’ dicunt (15); item sanat quibus subitis tenebris obscurantur oculi cum vertigine, ‘sxotomatixoùs’ hos Graeci appellante nec minus diutino correptis capitis dolore, quem ‘xefalaìan’ appellante prodest, data pondero X duum ex aquae mulsae cyathis quattuor, cum remissi fuerint; et si (20) frequenter quidem corripiuntur, post binas ternasve accessiones danda erit antidotos hiera. Hoc nomen enim tribuit ei duas propter causas, ut existimo: unam, ne eius nomen verum dicendo ostenderet, quae esset — dicitur enim a quibusdam ‘pixrà’, quia amara est, a quibusdam ‘dià xoloxuntidos’ (25) alteram, quo magis sub tanta specie nominis commendaret medicamentum. Sed si ex longo intervallo accessionibus vexabuntur, in remissione dolorum saepius dandum erit medicamentum... malva facta torpedine interdum admixta et cum exiguo pane, aquamque potui.

162. Ad utramlibet podagram torpedinem nigram vivam, cum accesserit dolor, subicere pedibus oportet stantibus in litore non sicco, sed quod adluit mare, donec (5) sentiat torpere pedem totum et tibiam usque ad genua. Hoc et in praesenti tollit dolorem et in futurum remediat. Hoc Anteros Tiberii libertus supra hereditates remediatus est.

A52 Tito LIVIO, Ab Urbe condita, lib. XXXIX, 13

...matronas Bacharum habitu crinibus sparsis cum ardentis facibus decurre ad Tiberim, demissasque in aquam faces, quia uiuum sulpur cum calce insit, integra flamma efferre...

A53 Plinio, Naturalis Historia, XXXVI, 139

Amiantus alumini similis nihil igni deperdit; hic veneficiis resistit omnibus, privatim Magorum.

A54 Plinio, Naturalis Historia, lib. XIX, 4, 19-20

19 Inventum iam est etiam quod ignibus non absumeretur. vivum id vocant, ardentesque in focis conviviorum ex eo vidimus mappas sordibus exustis splendescentes igni magis quam possent aquis. regum inde funebres tunicae corporis favillam ab reliquo separant cinere. nascitur in desertis adustisque sole Indiae, ubi non cadunt imbres, inter diras serpentes, adsuescitque vivere ardendo, rarum inventu, difficile textu propter brevitatem. 20 rufus de cetero splendescit igni. cum inventum est, aequat pretia excellentium margaritarum.

A55 Plinio, Naturalis Historia, lib. XIX, 4, 20

Vocatur autem a Graecis ασβεστινον ex argumento naturae. Anaxilaus auctor est linteo eo circumdatam arborem surdis ictibus et qui non exaudiantur caedi. ergo huic lino principatus in toto orbe.

Indice degli autori

AA.VV., *Energie Hydraulique et machine élévatrices d'eau durant l'antiquite*, Napoli 2007.
AA.VV., *Homo faber. Natura, scienza e tecnica nell'antica Pompei*, Milano 2002.
AA.VV., *Glassway, il vetro: fragilità attraverso il tempo*, Palermo 2004.
AA.VV., *La schiavitù nel mondo antico*, a cura di M.I.FINLEY, Bari 1970.
AA.VV., *Le trasmissioni dell'esercito nel tempo*, Roma 1995.
AA.VV., *Paleontologia e archeologia, dal Paleolitico all'Antichità Classica*, Milano 1973.
AA.VV., *Pondera, pesi e misure nell'antichità*, Libra 93, 2001.
AA.VV., *Schiavitù antica e moderna. Problemi Storia Istituzioni*, a cura di L. Sichirollo, Napoli 1979.
AMMIANO MARCELLINO, *Storie.*
ANTEMIO di TRALLE, *Paradossi Meccanici.*
ARISTOTELE, *De partibus animalium.*
ARISTOTELE, *Problematica physica.*
ARISTOTELE, *Questioni meccaniche.*
B. BALDI, *Di Herone Alessandrino, gli automati*, Venezia 1589.
D. BARBARO, *I dieci libri dell'architettura*, Venetia 1567.
A. BIASIOTTI, *Serrature e chiavi romane del museo archeologico nazionale di Napoli*, Modena 1998.
G. BOFFITO, *Gli strumenti della scienza e la scienza degli strumenti*, Roma 1982.
F. BOSSALINO, *M. Vitruvio Pollione, De architetctura Libri X*, Roma 2002.
E. BRAVETTA, *L'artiglieria e le sue meraviglie, dalle origini fino ai nostri giorni*, Milano 1919.
L. CANFORA, *La biblioteca scomparsa*, Palermo 2004.
J. CARCOPINO, *La vita quotidiana a Roma all'apogeo dell'Impero*, Bari 1982.
E. CECCHINI, *Tecnologia e Arte militare*, Roma 1997.
G. CERBO, F.RUSSO, *Parole e pensieri. Raccolta di curiosità linguistico-militari*, Roma 2000.
E. CERULLI, V.L.GROTTARELLI, *Industrie e tecniche*, in *Ethnologica. L'uomo e la civiltà*, Milano 1965.
C. G. CESARE, *De bello civile.*
D. CHARPIN, *Hammurabi di Babilonia*, Pordenone 2005.
A. CHERINI, Archeologia della vela dalla quadra alla latina, v. elettronica www.webalice.it/cherin/
P. E. CHEVEDDEN, L. EIGENBROD, V. FOLEY, W. SOEDEL, *La più potente macchina da guerra del Medioevo*, in *Le Scienze* n°325, settembre 1995.
G. CHIAUZZI, *Africa settentrionale*, Novara 1982.
V. G.CHILDE, *Il progresso nel mondo antico*, Torino 1975.
V. G.CHILDE, *L'alba della civiltà europea*, ristampa Torino 1973.
A. M. CHUGG, *The lost tomb of Alexander the Great*, London 2005.
CICERONE, *De re publica.*
E. CICCOTTI, *Il tramonto della schiavitù nel mondo antico*, Bari 1977.
M. CLAGETT, L*a scienza della meccanica nel Medioevo*, Varese 1972.
U. COLOMBO, *La fusione nucleare in Europa*, in *Esercito e scienza*, Modena 1991.
G. CULTERRA, *Architettura ippodamea, contributo alla storia dell'edilizia nell'antichità*, Roma 1924.
M. DAUMAS (a cura di), *Storia della scienza*, Bari 1969.
N. DAVEY, *Storia del materiale da costruzione*, Verona 1965.
S. DE CARO, A.GRECO, *Campania*, Bari 1981.
P. DELL'AMICO, *Navi e archeologia. Le ancore, i rostri, le sentine e i timoni*, supplemento della *Rivista Marittima*, febbraio 1999.
P. DELL'ORCO, *Remote origini della vela latina*, in *Rivista Marittima*, gennaio 1978.
M. DELLA CORTE, *Case ed abitanti di Pompei*, Napoli 1965.
T. K. DERRY, T. I. WILLIAMS, *Tecnologia e civiltà occidentale*, Torino 1968.
G. DI PASQUALE, *Tecnologia e meccanica. Trasmissione dei saperi tecnici dall'età ellenistica al mondo moderno*, Città di Castello 2004.
DIODORO SICULO, *Bibliotheca historica.*
DIODORO SICULO, *Storia Universale.*
E. DODWELL, *Views and description of Cyclopian, or, Pelasgic remains,in Greece and Italy*, London 1834.
W. EKSCHMITT, *Il faro di Alessandria, in Archeo*, supplemento n. 3, marzo 1993.
ENEA il TATTICO, *Poliorketika.*

ERODOTO, *Le Storie.*
ERONE, *Pneumatica.*
ESCHILO, *Agamennone.*
EURIPIDE, *Ecuba.*
E. e F. FASSITELLI, *Roma in Europa. Tubi e valvole dell'antica Roma,* Milano, edito da Petrolieri D'Italia, mensile fondato nel 1954.
FILONE di BISANZIO, *La sintassi meccanica.*
L. FIORE, *La condizione dello schiavo nell'antichità classica,* Teramo 1968.
R. V. FLAVIO, *Epitoma rei militaris.*
D. A. FLOWER, *I lidi della conoscenza. La storia dell'antica biblioteca di Alessandria,* Roma 2002.
V. FOLEY, W. SOEDEL, *Antiche navi da guerra a remi,* in *Le Scienze,* n° 154, 1981.
R. J. FORBES, *L'uomo fa il mondo,* Torino 1960.
M. FRANZETTI, *Tribuna,* 22.3.1933.
S. G. FRONTINO, *De aquis urbis Romae.*
A. GIARDINA, (a cura di) Anonimo, *De rebus bellicis. Expositio liburnae,* in *Le cose della guerra,* Milano 1989.
L. GARCIA y GARCIA, *Danni di guerra a Pompei. Una dolorosa vicenda quasi dimenticata,* Roma 2006.
Y. GARLAN, *Guerra e società nel mondo antico,* Bologna 1985.
Y. GARLAN, *Recherches de poliorcétique grecque,* Parigi 1974.
O. GERHARD, *Mura dette ciclopiche,* in *Annali dell'Istituto di Corrispondenza Archeologica,* Roma 1831.
B. GILLE, *Leonardo e gli ingegneri del Rinascimento,* Varese 1972.
B. GILLE, *Storia delle tecniche,* Roma 1985.
G. B. GIOVENALE, *I monumenti preromani del Lazio,* in *Dissertazioni della Pontificia di Archeologia,* VII, Roma 1900.
A. GIULIANO, *Urbanistica delle città greche,* in *Guida allo studio dell'architettura antica,* Napoli 1978.
P. G. GUZZO, *Le città scomparse della Magna Grecia,* Perugia 1982.
M. HOWARD, *La guerra e le armi nella storia d'Europa,* Bari 1978.
PSEUDO IGINO, *De munitionibus castrorum.*
P. JAMES, N. THORPE, *Il libro delle antiche invenzioni,* Milano 2001.
A. LANCIANI, *Topografia di Roma antica: i Commentari di Frontino,* 1881.
Y. LE BOHEC, *L'esercito romano. Le armi imperiali da Augusto alla fine del terzo secolo,* Urbino 2001.
M. LEGUILLOUX, *Le cuir et la pelletterie à l'époque romaine,* Paris 2004.
LEONARDO da VINCI, *Ms B.*
T. LIVO, *Ab urbe condida.*
P. LODIGIANI, *Barche tradizionali italiane,* Milano 1992.
G. LUGLI, *La tecnica edilizia romana con particolare riguardo a Roma e Lazio,* Roma 1957.
E. N. LUTTWAK, *La grande strategia dell'impero romano, dal I al III secolo d.C.,* Milano 1981.
A. T. MAHAN, *L'influenza del potere marittimo sulla storia* (1660-1783), Roma 1994.
F. MANGARTZ, *The Byzantine Hydraulic Stone Cutting Machine of Ephesos (Turkey). A Preliminary Report,* in *Ènergie hydraulique et machines élévatrices d'eau durant l'antiquité.* Napoli, 2007.
E. W. MARSDEN, *Greek and roman artillery. Technical treatises,* New York 1971.
R. MARTIN, *Architettura greca,* in *Storia universale dell'architettura. Architettura mediterranea preromana,* Venezia 1972.
MARZIALE, *Epistole.*
V. MELEGARI, *I grandi assedi,* Milano 1972.
G. MENZIES, *1434 The year a magnificent chinese fleet sailed to Italy and ignited Reinaissance,* London 2008.
B. MICCIO, U.POTENZA, *Gli acquedotti di Napoli,* Gaeta 1994.
F. MINI, *Fissione e fusione: una questione di «bombe» e di «perché»,* in *Esercito e scienza,* Modena 1991.
W. H. Mc NEILL, *Caccia al potere. Tecnologia, armi, realtà sociale dall'anno Mille,* Varese 1984.
A. MONDINI, *Dalla preistoria all'anno Mille,* in *Storia della Tecnica,* Torino 1973.
M. PAGANO (a cura di), *Gli scavi di Ercolano,* Pompei 2003.
A. PANTONI, *L'acropoli di Montecassino e il primo monastero di San Benedetto,* Montecassino 1980.
C. PAVOLINI, *La vita quotidiana a Ostia,* Bari 1986.
G. PENSO, *La medicina romana. L'arte di Esculapio nell'antica Roma,* NN 1985.
C. PERLES, *Preistoria del fuoco. Alle origini della storia dell'uomo,* Torino 1983.
G. PISANI SARTORIO, *Mezzi di trasporto e traffico,* Roma 1988.
G. C. PLINIO, *Naturalis Historia.*
L. POLETTI, *Delle genti e delle arti primitive d'Italia,* in *Dissertazioni della Pontificia Accademia Romana di Archeologia,* VIII, Roma 1838.
POLIBIO di MEAGALOPILI, *Storie.*
PLUTARCO, *Vite Parallele.*

PROCOPIO da CESAREA, *De bello Gotico.*
S. QUILICI GIGLI, *Roma fuori le mura*, Roma 1980.
M. A. RICCIARDI, *La civiltà dell'acqua a Ostia antica*, Roma 1996.
L. ROSSI, *Rotocalchi di pietra. Segni e disegni dei tempi sui monumenti trionfali dell'Impero Romano*, Milano 1981.
F. RUGE, *La guerra sul mare 1939-45*, Milano 1970.
D. RUOCCO, *Campania*, Torino 1976.
F. RUSSO e F. RUSSO, *79 d.C. rotta su Pompei, indagine sulla scomparsa di un ammiraglio*, rist. Napoli 2006.
F. RUSSO e F. RUSSO, *Tormenta navalia, le artiglierie navali romane*, supplem. *Rivista Marittima* n°6 / 2007.
F. RUSSO, *Faicchio fortificazioni sannite e romane*, Piedimonte Matese 1999.
F. RUSSO, *Fortificazioni e artiglierie aragonesi*, in Atti Conv. Naz. Studi Pietramelara 14-15.06.96, Roma 1996.
F. RUSSO, *Fuoco marino*, in *Rivista Marittima*, febbraio 2004.
F. RUSSO, *Gli armamenti navali. Armamenti collettivi*, in M. MAURO (a cura di) *I porti antichi di Ravenna. Il porto Romano e le flotte*, Ravenna 2007.
F. RUSSO, *I fari romani*, in *Rivista Marittima*, febbraio 2007.
F. RUSSO, *Il tempo è una goccia d'acqua*, in *Archeo*, n°4, anno 2009.
F. RUSSO, *Ingegno e paura*, Roma 2005.
F. RUSSO, *L'artiglieria delle legioni romane*, Roma 2004.
F. RUSSO, *La difesa costiera del Regno di Sicilia dal XVI al XIX secolo*, Roma 1994.
F. RUSSO, *La murazione aragonese di Napoli: il limite di un'era*, in A.S.P.N., n° CIII intera col., Napoli 1985.
F. RUSSO, *Leonardo inventore? L'equivoco di un testimone del passato scambiato per un profeta del futuro*, Napoli 2009.
F. RUSSO, *Tormenta. Venti secoli di artiglieria meccanica*, Roma 2002.
L. RUSSO, *La rivoluzione dimenticata. Il pensiero scientifico greco e la scienza moderna*, Milano 2003.
E. T. SALMON, *Il Sannio e i Sanniti*, Torino 1985.
E. SALZA PRINA RICOTTI, *Cibi e banchetti nell'antica Roma*, in *Archeo*, n. 46, dicembre 1988.
W. SANDERMANN, *Il primo ferro cadde dal cielo: le grandi invenzioni degli antichi*, Bologna 1978.
SCRIBONIO LARGO, *Compositiones.*
J. SEIGNE, T.MORIN, *Une scierie hydraulique du VI^ siècle a Gerasa (Jerash, Jordanie). Remarques sur les prémices de la mécanisation du travail*, in *Energie...*
L. A. SENECA, *Apocolocyntosis.*
SENOFONTE, *Anabasi.*
A. STACCIOLI, *Le terme dei romani, in Archeo*, n. 68, ottobre 1990.
E. M. STAERMAN, M. K, TROFIMOVA, *La schiavitù nell'Italia imperiale*, Perugia 1975.
W. H. STAHL, *La scienza dei Romani*, Bari 1974.
D. STROFFOLINO, La *città misurata. Tecniche e strumenti di rilevamento nei trattati a stampa del Cinquecento*, Roma 1999.
C. SVETONIO TRANQUILLO, *Le vite dei dodici Cesari*, traduzione di A. Vigevano, Milano 1972.
M. TABANELLI, *Chirurgia nell'antica Roma*, Milano 1956.
G. TODARO, *Bracconaggio e trappolaggio*, Bologna 2006.
U. TRIPICCHIO, *Arte e tecnica navale*, Napoli 1975.
TUCIDIDE, *Storia della guerra del Peloponneso.*
A. UCCELLI, *Enciclopedia storica delle scienze e delle loro applicazioni*, Milano 1942.
G. UCELLI, *Le navi di Nemi*, Roma 1950.
G. W. VAN BEEK, *Ascesa e caduta dell'Arabia Felix*, in *Letture* da *Le Scienze*, Milano 1973.
VARRONE, *De agricoltura.*
VARRONE, *De re rustica.*
G. VENTURI, *Commentari sopra la storia e le teorie dell'ottica del cavaliere Giambattista Venturi reggiano*, Bologna 1814.
VITRUVIO, *De Architectura.*
G. VIVENZIO, *Istoria e teoria de' tremuoti in generale ed in particolare di quelli della Calabria e di Messina del MDCCLXXXIII9*, Napoli 1733.
V. W. VON HAGEN, *Le strade imperiali di Roma*, Roma 1978.
D. YERGIN, *Il premio, l'epica corsa al petrolio, al potere e al denaro*, Firenze 1991.
J. B. WARD-PERKINS, *Architettura romana*, in *Storia universale dell'architettura.*
J. A. WELLER, *Roman traction system*, v. elettronica in www.humanist.de/rome/rts/wagon.html
L. WHITE jr, *Tecnica e società nel Medioevo*, terza edizione Milano 1976.
H. E. WULF, *I qanat dell'Iran*, in *Paleontologia e Archeologia dal Paleolitico all'Antichità Classica*, Milano 1973.

Finito di stampare nel mese di Novembre del 2009
presso la tipografia Cangiano Grafica - Napoli
da ESA - Edizioni Scientifiche e Artistiche - www.edizioniesa.com
per conto della Rivista Militare

ISBN 978-88-95430-17-1

RIVISTA MILITARE